



TITLE:

# 部分と全体の相制関係に基づいた 建築の配置計画手法と評価に関する研究( Dissertation\_全文 )

AUTHOR(S):

岩田, 伸一郎

---

CITATION:

岩田, 伸一郎. 部分と全体の相制関係に基づいた建築の配置計画手法と評価に関する研究. 京都大学, 2003, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2003-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r11312>

RIGHT:

新制
工
1295

部分と全体の相制関係に基づいた  
建築の配置計画手法と評価に関する研究

2003年

岩田 伸一郎

部分と全体の相制関係に基づいた  
建築の配置計画手法と評価に関する研究

2003年

岩 田 伸 一 郎

## 目 次

### 第1章 序論

1.1 研究の背景	5
1.2 研究の目的	9
1.3 研究の方法	11
1.4 論文の構成	18
注釈	19
参考文献	20

### 第2章 移動コストを評価尺度としたセルモデルによる病院手術棟の室配置計画

2.1 はじめに	23
2.1.1 本章の目的と方法	23
2.1.2 既往研究	24
2.2 セルモデルの設定	25
2.3 染色体へのコード化	26
2.4 順序表現における GA オペレーション	29
2.5 パラメータの設定	31
2.6 線形型最適手法との比較の結果	31
2.7 まとめ	37
参考文献	37

### 第3章 移動コストを評価尺度とした廊下形状モデルによる病院手術棟の室配置計画

3.1 本章の目的と方法	39
3.2 廊下形状モデルの設定	40
3.3 染色体へのコード化	43
3.4 パラメータの設定	44
3.5 結果	44
3.6 まとめ	47
参考文献	49



## 第4章 大学の組織構成要素のまとまりと要求面積充足度に基づいた 既存校舎への室再配置計画

4.1 はじめに	51
4.1.1 本章の目的と方法	51
4.1.2 既往研究	54
4.2 ニューラルネットワークを用いた室再配置モデルの設定	54
4.2.1 ユニットとブロックの定義	54
4.2.2 ニューラル表現	55
4.2.3 エネルギー関数の定義	57
4.2.4 許容値の定義	59
4.3 棟割り当て手法による室再配置画（シミュレーション1）	60
4.4 室照合手法による室再配置計画	64
4.4.1 同分野項重視の配置プラン（シミュレーション2）	64
4.4.2 同専攻項・同分野項重視の配置プラン（シミュレーション3）	64
4.5 まとめ	66
参考文献	68

## 第5章 自律的な大学組織の相制関係に基づいた施設配置計画

5.1 はじめに	69
5.1.1 本章の目的と方法	69
5.1.2 既往研究	70
5.2 マルチエージェントシステムによる施設配置モデル	71
5.2.1 配置問題の条件	71
5.2.2 エージェントと配置空間の設定	71
5.2.3 エージェントの相制関係の定義と行動ルール	72
5.2.4 変数とパラメータ	74
5.3 マルチエージェントシステムのフロー	76
5.4 個別の計画目標に対する施設配置計画	77
5.4.1 建物を単位とした施設配置計画（ケース1）	77
5.4.2 異なる組織の混在を許容した施設配置計画（ケース2）	81

5.5 配置計画手法としての有効性に関する考察	．．． 87
5.6 まとめ	．．． 88
参考文献	．．． 89

## 第6章 総延床面積と総立面面積の推移に基づいたキャンパス建替計画

6.1 はじめに	．．． 91
6.1.1 本章の目的と方法	．．． 91
6.1.2 既往研究	．．． 94
6.2 評価尺度と建替条件の設定	．．． 94
6.3 2つの尺度の評価値を求めるための単位空間の設定	．．． 99
6.4 GAを用いた二目的最適化手法	．．． 99
6.5 二目的最適化による建替計画（シミュレーション1）	．．． 100
6.5.1 コード化	．．． 100
6.5.2 結果	．．． 101
6.6 目標配置プランの補正を考慮した建替計画（シミュレーション2）	．．． 111
6.6.1 コード化	．．． 111
6.6.2 結果	．．． 112
6.7 建替期間中の目標の変更を考慮した建替計画（シミュレーション3）	．．． 116
6.7.1 目標の変更方法	．．． 117
6.7.2 結果	．．． 117
6.8 まとめ	．．． 118
参考文献	．．． 119

## 第7章 結論

7.1 各章のまとめ	．．． 121
7.2 結論	．．． 124



## 第1章 序論

1.1 研究の背景

1.2 研究の目的

1.3 研究の方法

1.4 論文の構成

注釈

参考文献

## 1.1 研究の背景

建築を取り巻く背景や条件はプロジェクトごとに異なり、一つとして全く同じ場合は存在しない。また、設計・施工・運用の各段階において多くの主体が複雑に関わり合い、それぞれの主体ごとに計画案を評価する個別の視点が存在している。計画条件や計画者の価値観はますます多様化しており、複雑な建築の計画問題を、特定の価値観に基づいた画一的な手続きによって解くことは難しい。計画行為を支援することを目的とした計画手法の考案に際し、計画者の価値観の違いやパラダイムの変化に起因する評価の個別化の問題を、十分に考慮することの重要性が増している。

建築を部分の集合として捉えるアプローチは、複雑で多目的な計画対象を把握するのに効果的である。このとき、計画行為は、計画条件や計画者の目標に基づいて、部分に分解された対象を再構成して全体を生み出す作業と位置付けられる<sup>文献1)</sup>。建築のプログラムが複雑化し、計画目標が多様化する背景において、部分と全体の機能的かつ造形的な秩序を形成するその手法が求められている。Alexanderは“The principle of organic order”[C. Alexander 1975]や“A New Theory of Urban design”[C. Alexander 1987]の理論において、オレゴン大学とサンフランシスコのウォーターフロントの計画を通して、部分同士が協調することで形成される全体の秩序の重要性を全体性<sup>\*注1</sup>という言葉を用いて説明している<sup>文献2, 3)</sup>。そして、全体性を備えた優秀な計画案を導く方法論として、成長する全体という概念に基づく実験的な計画プロセスを提案している。これらの理論には、部分を再構成して建築を導く計画手法に通じる数々の概念を見出すことができる。

以上に示すように、建築計画において「評価の個別化」と「全体性の形成」は重要なテーマと考えられ、これらを十分に配慮した計画手法のあり方が問われている。

### ・ 建築の部分と全体

まず、「部分」と「全体」の言葉の定義をしなくてはならない。Aristoteles(BC384-BC322)が部分を断片や破片であると説明したように<sup>文献4)</sup>、古典的な理論では部分と全体は対立概念とされ、全体は自立性を持つ点において部分よりも優位なものとして考えられてきた。しかし、部分は部分集合を形成し、また全体は部分集合の集合となる階層的な関係が存在することから、部分と全体は対立する概念ではなく、構成要素の相対的な関係を表す概念に過ぎないと考えられるようになり、部分も自立性を持つ要素と見なす論理が一般的となった。ある視点において全体と定義されていたものは、別の視点では部分となり、同様に、部分はさらに他の部分にとっての全体となる。本論においても、「部分と全体」を、「最小単位である部分と最大単位である全体」の一意的な関係を示すだ

けにとどまらず、部分同士、あるいは部分と部分集合の相対的な関係を多義的に示す言葉として用いることとする。

建築の部分と全体の概念は、様々な場面において議論されてきた。建築分野の最も古いものとしては、『建築書』[Marcus Vitruvius Pollio BC. 1c]の第一書第二章第一節において、建築を部分の集合と捉えた数々の原理が建築造形成立の基本要件として提示されている。Vitruviusは、その中で「一定部分(modulus)を作品の肢体そのものから割り出し、一つの肢体の部分から作品全体を具合よく作りあげること(quantitas)」や、「個々の部分から一定部分が採用されて、それによって全体の姿がうまく照応していること(responsus)」といった、部分と全体の通約関係や量的秩序の重要性を既に説明している<sup>文献5)</sup>。

近年、建物を部分の集合と捉える概念は多様な展開を見せており、「空間構成の類型化」、「Building Element 論(BE 論)」、「形態生成理論」の大きく3つの系譜に分類できると考えられる。

空間構成の類型化の研究は、建物の使用に重点をおき、部屋を部分とする「空間」の体系に基づく部分と全体の関係を主題とする。室を単位空間とする考え方が提唱され、部分を単位空間とする「室の配置」の概念が示されたことにより[渡辺他 1920]<sup>文献1)</sup>、建物を構成する単位空間相互の関連性の観点から、建物の使われ方や機能性を分析する研究が盛んとなった。西山は住宅における生活様式と単位空間の構成の関係を「平面型」として分類する概念を提示し[西山 1941]<sup>文献6)</sup>、吉武は、単位空間に対する「使用者の要求」や「機能空間の相互制約関係」の特徴に関する分析へと展開した。空間的な部分と全体の概念に基づいて、個々の単位空間とその集合の背後にある様々な要因に関する膨大な知識が蓄積されるようになり、統計技術の進歩を伴って、その後の様々な数理モデルや配置計画手法の研究へと展開される基礎が形成された。

BE 論は、Davies 他が、著書『Building Elements』[R. L. Davies 1956]<sup>文献7)</sup>の中で、各要素(壁・床・屋根などの部位)がどのようにして要求を満たしているかを解説し、性能評価の観点から建築物の部分と全体の理論に基づいて考察することの重要性を指摘したことに端を発する。BE 論では、主に部分として「部位」を扱った議論が展開された。これを基盤として、内田他は、Building Element(以下、BE)の定義をより明確化し、BEの整理・分類のための記号化や、光・熱・音といった因子に対するBEの基本的性能をまとめあげ、「構法計画」<sup>文献8,9)</sup>という研究分野の体系を確立した[内田他 1981]。BE論の成果は、部位の性能評価や性能規定に基づいた住宅生産に工業化をもたらした。現在、建築技術の変化や建築基準法の性能規定化によって再び注目を集めている。

建築形態の形成理論は、Chomskyの生成文法理論における言語理論[N. Chomsky 1956]を図形に応

用した Shape grammar の研究に代表される [J. Gips 1975] 文献<sup>10)</sup>。Shape (全体) を要素の集合として定義し、デザインを各要素とその変形に関するルールによって表現することで、複数の変形のルールを用いて枝分かれ状に多様なデザインを派生させる理論が示された [S. George 1972] 文献<sup>11)</sup>。Shape grammar の理論は、様々な既存建築のデザイン分析に用いられており、Frank Lloyd Wright のプレーリーハウスにおける99個の形態文法を記述した研究<sup>文献<sup>12)</sup></sup>は有名である [H. Koning 1975]。Shape grammar の研究は、その後多くの研究者によって展開されており、Mitchell は、コンピューター・テクノロジーによるデザイン方法の刷新を見据え、建築対象を一階述語論理や Shape grammar で記述し、デザインプロセスを一種の計算と捉える理論の体系化を行った [W. Mitchell 1991] 文献<sup>13)</sup>。青木他は、建築形態の認識過程において、Shape (図形) よりも抽象的に表現された空間のスキーマ (図式性) が重要であることを指摘し、図式における部分と全体の関係を記述する文法 (スキーマグラマー) へと展開した [青木他 1993] 文献<sup>14)</sup>。服部は、空間単位が 2DK のように図形操作の手続きを示す記号化 (モノイド) できることに着目し、「要素による建築の構成」を前提に、建築の空間構成が形式言語によって記述可能であることを明らかにした [服部 1993] 文献<sup>15)</sup>。これらの形態生成理論は、部位の組み合わせによる建築全体の形態のメカニズムの解明と、既存建築の文法的解釈において多くの成果をもたらした。

上記に挙げた既往研究では、どの研究分野においても常に部分と全体の明確で定常的な関係や構造を明らかにすることに関心が置かれてきたと言える。BE 論が目指したものは、誰でも建物を画一的に評価することのできる体系であった。形態生成理論や空間構成の類型化の目的は、多数の建物における部分と全体の構成パターンに関する共通原理の探求であった。

本論が目指すのは、従来の計画手法における「部分と全体の明確な関係のモデル化」に加え、「部分と全体のあいまいな関係のモデル化」である。あいまいな関係とは、計画全体を構成する部分が、互いの条件を満たそうと直接的あるいは間接的に制御し合う関係であり、計画者の価値観の違いによって変化するため一意的に決定することはできない。計画手法においては、このような関係を発見しモデル化することが重要であり、本論ではこれを相制関係と呼ぶ。計画案はこのような流動的な関係にある部分と全体の個別の条件に対する一状態と捉えられる。

## ・建築計画におけるヒューリスティックスと知的システム

長い時間を経てゆっくりと成長してきた都市では、各部分は機能的で大規模に建設された都市にはない部分と全体の一体感を感じることができる。Alexander が、この一体感を全体性と呼んでい

ることは本論の冒頭でも述べたが、彼の提唱する全体性とは、部分と全体の機能的な調和だけに限らず、デザイン、色彩、建物規模など、様々な要素の総合的な調和としてもたらされる。建築のプログラムは時代を経るごとに複雑化あるいは複合化しているため、このような全体性の実現は、都市や町並みのように大規模な計画に限らず、単体の建築においても重要な課題となっている。

また、現在の建設活動は、技術の急速な進歩に伴って格段にそのスピードを上げており、全体性の形成を自然発生的なプロセスに委ねることはできない。計画者は厳しい時間の制約の下に、多くの計画条件や要求をまとめ上げることを求められているため、計画全体の表面的な機能性や造形の整合性の問題にとらわれ、全体性の形成にまで意識が払われることは少ない。限られた時間内において、部分と全体の機能性がバランスよく保たれた計画案を積極的に導く手法を試みることは、豊かな建築・都市空間を創造する上で大きな意義を持つものと考えられる。

Alexander は、都市の全体性の形成過程に関して、“THE IDEA OF A GROWING WHOLE”<sup>文献3)</sup>の中で漸進的なプロセスの重要性を説明している。また同時に、単に細かな成長を行うことは混沌とした無関係な部分の集合としての全体を作り出す危険性を纏うことを指摘し、計画に携わる者たちが絶えず評価を行うことで、それを継続的にフィードバックすることの必要性を述べている。このようなプロセスによる解法は、一般的にヒューリスティックスと呼ばれる。

建築の計画プロセスを説明する場合に用いられるヒューリスティックスとは、経験則である「Heuristic Reasoning」を意味し、理想的な解に到達することができるのか前もって分からないような問題において、計画者のひらめきによって発見的に有効な暫定解を見出していく手法である。条件設定や評価の方法が多様に存在する建築の計画問題を解く上で、ヒューリスティックスは欠かすことができない<sup>文献16)</sup>。

一方、ヒューリスティックスは知的システムを説明する場合にも用いられる。このときのヒューリスティックスは「Heuristic Method」を意味し、正しいと思われる選択肢を順に試行錯誤しながら正解に辿り着く解法である。知的システムは、膨大な情報処理に基づく最適化の手法として知られており、遺伝的アルゴリズム(GA)、ニューラルネットワークなどの様々なアルゴリズムを用いたシステムが存在する。従来の最適化手法と大きく異なる特徴として、手続き的なプログラムでありながらも、プログラムによって完結したシステムではなく、「初期条件」「終了条件」「評価式の定義」などにおける多種のパラメータの設定において、操作する者の試行錯誤が必要とされる。

このように、建築の設計プロセスを説明するヒューリスティックスと知的システムを説明するヒューリスティックスは異なる概念であるが、計画者やシステムを操作する者の能力に依存して結



果が異なる点において共通性を持つ。また、建築の計画プロセスにおける思考の全てが発見的手法に分類されるものではなく、むしろ、その多くは知的システムにおけるヒューリスティックスと類似した、多くの情報の整理・分析に基づく解の探索作業である。計画者は与えられた計画条件に対してあらゆる可能性を検討することはできないため、何らかの情報や意思に基づいて問題空間を絞り込み、その中で解の成立可能性を検討しながら優秀な解の探索を行っている。そして、満足できる解が得られない場合には、計画者は新たな問題空間を再定義することで思考を継続する。

ある程度の単純な問題であれば、計画者は頭の中で経験的に情報を整理・分析し、解を導くことが可能である。しかし、問題がさらに複雑あるいは多目的となったとき、指数関数的に増大する情報を経験や勘に頼って処理しては、優秀な解を効率的に見つけ出すことができない。問題の複雑化に伴って発生する、計画者が不得意とする膨大な情報処理を、何らかの方法によって支援することが必要である。このような背景において、建築の計画問題への知的システムの活用に大きな期待が寄せられている。

人間の思考は、幅広い知識に基づいて計画案を総合的に評価することを得意とするが、その反面、膨大な情報の処理を苦手とする。複雑な判断を要求される建築の解を見出す計画プロセスにおいて、知的システムを用いて「人による評価・選択・調整」と「知的システムによる情報処理」の協調的関係を築くことは、計画者が不得意とする膨大な情報処理を知的システムに代行させることで、計画者の評価や選択の対象となる優秀な代替案を効率的に提示することを可能とし、豊富な建築の知識を持った計画者の試行錯誤を支援してくれると期待される。知的システムを用いて計画をモデル化することは問題空間を定義することを意味し、その問題空間における複雑な試行錯誤を、デジタルなパラメータや目標値の調整に置き換えた計画手法は、価値観や目標の変化に対応した多様な計画案の検討を容易にするものと考えられる。

## 1.2 研究の目的

建築の配置計画を対象として、複雑な建築を単位空間の集合体と捉え、個別の要求条件や設計者の計画意図を高度に満たし、部分と全体の機能的な調和のとれた配置プランを効率的に見つけ出す配置計画手法を提案することを目的とする。また、単位空間が相対的な影響力の下に互いの条件を満たそうと制御し合う相制関係を知的システムを援用してモデル化し、「計画者の評価・選択」と「知的システムの情報処理」の協調的な計画プロセスに基づく配置計画手法の有効性を実証する。

本論では、表1-1に示す(I)から(IV)の4つの配置計画のテーマを取り上げる。(I)と(II)は、従

計画の主題	対象	単位空間	計画を評価する尺度	計画目標および制約条件	相制関係
(I) 人の移動量と空間の配置の関係	病院手術棟の室配置計画	セル (部屋を分割した仮想の単位空間)	セル間の移動人数と移動距離(ユークリッド距離)の積をスタタツフの給料に基づいて重み付けを行った「移動コスト」。	全てのセルの移動コストの総和が基準値を満たすとともに、「各種手術室」「接的に手術室をサポートする諸室」スタツフのための諸室およびその他の3つのグループに分類したときの、そのゾーニングが手術棟としてその整合性を満たす。	全てのセルが相互の移動コストを最小化しようとする関係と、同じ部屋を構成するセルが隣接しようとする関係
		部屋 (面積や形状が各々異なる)	セル間の移動人数と移動距離(廊下上の距離)の積をスタタツフの給料に基づいて重み付けを行った「移動コスト」。	全ての「室」間の廊下形状によって規定された移動コストの総和が基準値を満たす室の配列を求める。	部屋同士が、廊下を介する移動コストを最小化するように配置される関係
(II) 空間の図式と配置の関係	大学校舎の室再配置計画	ユニット (既存建物の構造によって決定される単位空間)	組織構造における各階層のまとまり度合	組織の各階層のまとまりが、重み付けに応じて満たされていると同時に、個々の部屋が要求面積と割り当て面積の差を許容範囲内に抑えることで、部屋としての機能性を確保する。	大学の階層的な構成(部室、分野・系・専攻)における、それぞれの階層が、まとまりよく配置されようとする関係
(III) 計画全体を評価する尺度を明示的に設定できない問題	大学キャンパスの施設配置計画	組織エージェンツ (各組織に属するポリシーム)	存在しない	各エージェンツが、複数の制約条件を全て満たして計画者の意図に応じたローカルな環境を形成するとともに、配置プラン全体として各建物の規模、分散、過密状態の回避、アメニティスペースの確保など、大学キャンパスとしてふさわしい環境が形成されている。	全てのエージェンツが個別の制約条件を満たした状態を探索する関係
(IV) 空間が時間的に変化する配置	大学キャンパスの施設建替計画	配置プラン	総延床面積と外部空間における圧迫感を表す「立面面積」	建替スケジュールの各段階において2つの尺度を高度に満たすと同時に、その数値の推移および空間の変遷において好ましくない状態が発生しない。	各年の配置プランの評価を最適化しようとする関係と、期間全体として評価を最適化しようとする関係 2つの評価尺度をそれぞれ最適化しようとする関係

表1-1 本論で扱う配置計画の一覧

来の建築計画学の骨子とされる「人の移動と空間の配置の関係」および「空間を抽象化した図式と配置の関係」の計画理論に基づいて、部分と全体の相制関係のモデル化の概念を取り込んだ配置計画手法を提案するものである。(Ⅲ)と(Ⅳ)は、従来の配置計画手法ではほとんど考察の対象とされてこなかった新しい配置問題として、「計画全体を評価する尺度を明示的に設定できない配置計画」と「空間が時間的に変化する配置計画」を取り上げ、部分と全体の相制関係のモデルに基づいた計画手法を提案するものである。この4つのテーマに分類される計画の目的や計画対象の特性も異なる5つの個別の配置問題を事例として、各テーマにおける部分と全体の相制関係のモデル化と知的システムに基づく計画理論の有効性と、幅広い配置問題への適用の可能性を検証する。

### 1.3 研究の方法

単位空間からプランを再構成する計画手法には、「分割型」と「連結型」が存在する[菊竹 1955]。「分割型」は、建物全体の大枠を先に決め、その内部を分割することで空間構成を生み出していく方法であり、全体の形態によって内部の空間に制約が強い。これに対し、「連結型」の手法は、部屋や棟といった単位空間を設定し、環境条件や動線を考慮しながらそれらを連結して全体を形成するものであり、単位空間や全体の形態の自由度が高い。それぞれ目的や主旨に応じた利点があるが、部分と全体の相制関係から計画条件や価値観の多様性を前提とした配置計画手法を考察するとき、個々の部分の独立性が高い後者の手法が適していると考えられる。そこで、本論では「連結型」の手法によって空間のモデル化を行う。

配置プランの構成要素となる部分に関する膨大な情報を効率的に処理するためには、確率的な探索を行う知的システムの援用が有効であると考えられる。本論では、遺伝的アルゴリズム（以下、GA）<sup>\*注2</sup>、ニューラルネットワーク<sup>\*注3</sup>、マルチエージェントシステム<sup>\*注4</sup>を適用した手法の提案を試みる。これらのアルゴリズムによる知的システムの共通点として、演算プロセスにおいて偶然かつ断片的に獲得される良好な部分を保持することで条件充足解や選好有効解を発見的に探索する特性が挙げられる。知的システムにより解の探索を行うためには、目標の設定と評価尺度の定義が必要となるが、好ましい目標の与え方や解の評価の方法は問題の特性により異なるため、それに適したアルゴリズムを選択してモデル化を行う。

個別の配置問題における相制関係のモデルは、「部分となる単位空間」「計画を評価する尺度」「計画目標および制約条件」の定義の組み合わせによって特徴付けることができる。建物は、一般的に{部屋/部門/階/建物}といった階層的な空間のレベルによって表現することができ、{部屋}が

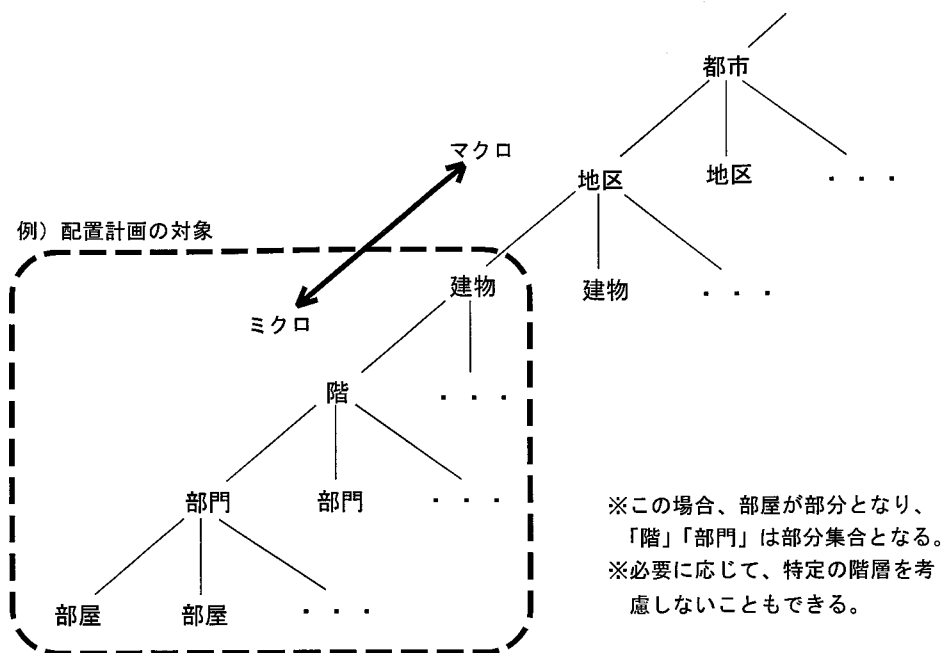


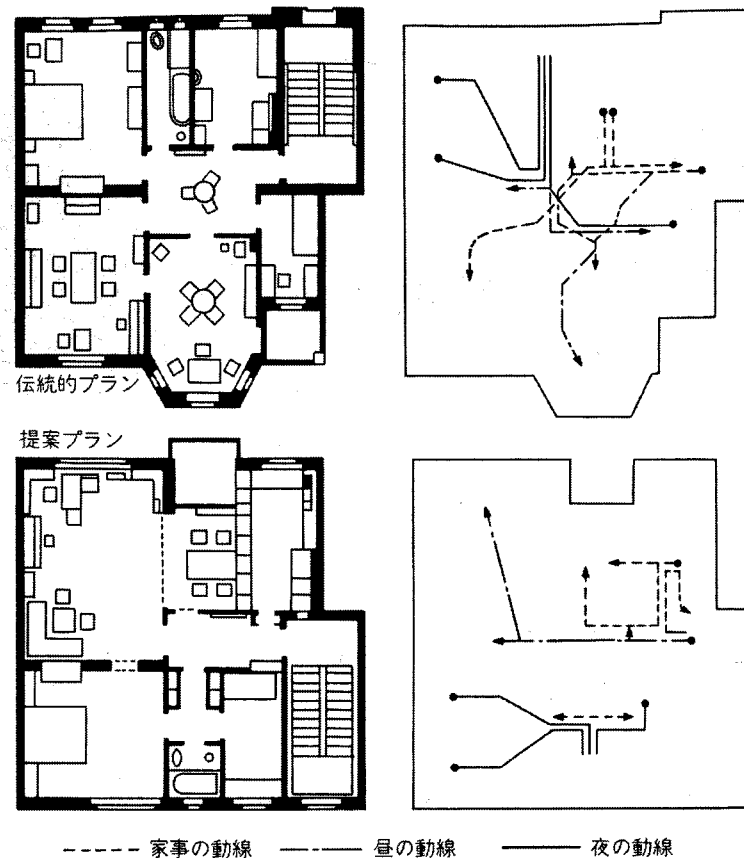
図 1-1 階層的な空間構成

集合して {部門} を形成し、{部門} が集合して {階} を成す (図 1-1)。各配置計画のモデル化において、対象となる建物の規模や考察の目的を総合的に判断し、上記の階層的な空間構成から問題となる空間の枠組みを定め、計画の目的・計画対象の規模・複雑さといった問題の特性に応じてふさわしい単位空間を定義することで、部分と全体の相制関係をモデル化することが求められる。

本論で取り上げる4つの配置計画のテーマおよび事例とする配置問題について、以下に概要を説明する (詳細は、各章にて説明)。

### (I) 人の移動コストと空間の配置の関係に基づく配置計画

人や物の移動と空間の配置の関係は、建築計画学の基本をなす考え方であり、配置プランを評価する最も重要な尺度とされる。動線研究は、人の移動と空間配置に関する最も有名な理論であり、Kleinは、利用者の移動経路を統計に基づいて配置プラン上にプロットした動線図 (図 1-2) から、近接配置や隔離配置といった動線と室配置のつながりに関する原則を示した [A. Klein 1928] 文献<sup>17)</sup>。時を同じくして、同様の理論は Taut によっても提示されている [B. Taut 1927]。動線研究は、それまでシンメトリーや黄金比といった美学的概念によって決定されてきた空間の配置や形態を、利用の観点から客観的かつ科学的に決定する後の多くの研究の出発点となった。西山は、住宅における動線を「公生活動線」「私生活動線」「家事労働動線」から構成されることを指摘し、動線を短縮することよりもこれら3種の動線の交錯を避けることを重視する理論を展開した [西山 1936] 文献<sup>18)</sup>。



- (1) 伝統的プラン：各種の動線がかなり交錯しており、居室の機能が無秩序に配置されている。  
 (2) 提案プラン：昼の活動のための動線と夜の活動のための動線が明確に分離されており、様々な居室の機能が合理的に分化されている。

図1-2 クラインの動線図

(出典：A. Klein, Neues Verfahren zur Untersuchung von Kleinwohnungsgrundrissen, Städtebau 23 Jahrg, 1928)

Kleinの研究では、動線は交錯の有無によってプランの機能性を評価する尺度として用いられたが、その後、動線は移動人数や移動距離といった数量的な比較や評価が可能な側面が重視され、移動量というプランを評価する量的な尺度として確立された。移動量は相関マトリクスによって与えることができ、空間同士の移動人数を表したアソシエーションチャートや機能的な関係の強度を表した親近度表など目的に応じて多様化し、同時に相関マトリクスとして与えられる条件を満足させる平面を合理的に導くことを目的とした多くの計画手法へと展開された。Whitehead他は“An Approach to the Optimum Layout of Single-storey Buildings”[B. Whitehead and M. Z. Eldes 1964]の研究文献<sup>19)</sup>において、移動人数と移動距離の積である移動コストの総和を最小化する平面室配置の計画手法を導いた。Willoughbyは“Computer-aided Design of a University Campus”[T. M. Willoughby 1970]文献<sup>20)</sup>の研究において、Whitehead他の移動量に基づく計画理論を、三次元の空間配置問題に展開した。岡崎他は、室を順次追加的に配置していくモデルによって、室間親近

度と室相互距離の積の総和を最小にする室配置を求め、続いて必要な室間に最短経路となる通路を求める手法を提案した[岡崎 1984]<sup>文献21)</sup>。青木は、機能を持った8部屋を空間(location)に割り当てる問題において、部屋相互の交通量と距離の積を総交通コストと定義し、GAを用いて総交通コストを最小化する空間の割り当てを求める解法を提案し、並列的な探索という新たな計画手法の可能性を示した。[青木 1996]<sup>文献22)</sup>。

第2章および第3章では、上記の系譜によって確立されてきた人の移動コストを用いて単位空間の配置を規定する計画論理に、相制関係のモデル化とGAを用いることで、個別の価値観に応じて解の選択を可能とする多解生成手法への展開を試みる。病院手術棟の室配置問題の事例を用いて、病院スタッフの移動コストを給料による重み付けを行った移動人数と移動距離の積と定義し、これを用いて単位空間の相制関係に基づいた配置モデルを作成する。

第2章では、室配置計画の初期段階における概略的な部屋の位置関係や形状を検討することを目的として、部屋を分割した仮想の単位空間であるセルを部分として設定し、セル間の移動コストの総和を小さくするセルの配置パターンを求める。

第3章では、第2章と同じ室配置問題に対し、廊下の形状を考慮したインフラストラクチャ型の配置プランを考える。スタッフのより具体的な移動経路を想定したときの機能的な配置プランを求めることを目的とする場合、面積や形状の異なる個々の部屋を部分として設定し、ドアからドアへ廊下上を移動する距離に基づいた移動コストによって、部屋同士の相制関係を規定することが望ましい。2つの配置計画によって、計画対象や評価尺度の考え方が同じであっても、計画の視点や目標が異なる場合、モデル化においてふさわしい単位空間、相制関係、評価尺度を定義することが重要であることを示す。

## (Ⅱ) 空間の図式と配置の関係に基づく配置計画

各諸室の空間的關係を抽象的に図式化した空間モデルは、建築の複雑な機能を理解し、それを評価する上で欠かすことができない。建築を計画するとき、明確な建築が唐突に現れるわけではなく、計画者は大まかな空間配置や形態の特徴を思い描くことからはじめ、詳細に関しては徐々に決定していく。複雑なプログラムの建築を評価する場合も同様で、全てを理解した上で正確な評価を与えることは困難であり、建築を抽象的に表現した図式が判断の拠り所とされる。そのため、計画条件やプログラムが複雑な建築の計画においては、計画行為は、空間的關係の図式に基づいて計画案を評価しながら図式を具現化する計画案を探索する作業と説明することができる。ここで言う図式と

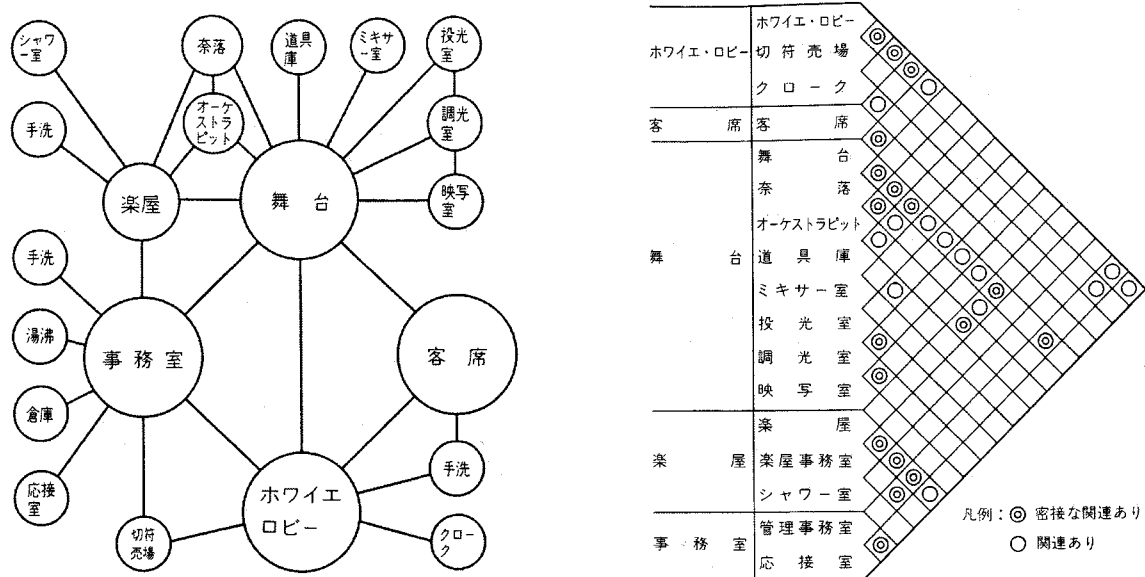


図1-3 劇場の機能図(左)と相関図(右)の例

(出典：岡田光正他，現代建築学 建築計画1，鹿島出版会，1987)

は、具体的な人や物の動きを軌跡として表す動線図に対して、空間同士の関係をより直接的に捉えた空間のモデルである。図式には定まった形式はなく、計画対象の特性や考察の目的に応じて、空間を面積やボリュームを考えない「点」によって表記する図式や、空間同士を距離の概念を持たない「線」によって結び付けた図式など様々な形式が存在し、計画案の価値を客観的に位置付ける上で活用されている（例：図1-3）。太田は、N個のブロックを持つ小学校の平面構成において、面積を考慮しない位置関係を決定することの重要性に触れ、抽象的な点と点を線によって結び付けた図式として表現することで類型化を行っている[太田 1961] 文献23, 24)。川崎他は、機能を表現するカテゴリーを多変量解析方法によってグルーピングする方法を用いて、そこから空間構成へ接近させる試みを行い、ひらめきによって導かれた全体の形に対して、後で部分的な修正や機能との整合性をとっていく還元的なデザインの評価やチェックの方法において、点として表現された空間要素を2次元あるいは3次元座標上に配置した図式の有効性を実証した[川崎 1973] 文献25, 26)。Tabar は、要求諸室を相関マトリクスを用いて、クラスター分析および多次元尺度法によって、各室の連絡関係を分析している[P. Tabar 1976] 文献27)。黒沢は、太田の用いた図式を動線条件を考慮した隣接グラフへと改良し、これを用いて住宅の平面型の型特性や型展開方向を把握する手段としてのパターン分析手法を示した[黒沢 1988] 文献28)。

問題の複雑化に伴い、それに見合った精度の評価尺度が解の優劣の評価に必要となるため、知的システムを用いた相制関係モデルを、空間の関係を抽象的に表した図式との一致度に基づいて評価

する配置計画手法の有効性は高いと考えられる。第4章では、「組織の階層構成を表す図式」と「建物の階層構成を表す図式」に基づいて配置プランを評価する既存建物への再配置問題をニューラルネットワークを用いてモデル化し、複雑な配置問題に対する計画者の多様な価値観を、空間の図式に対する評価として取り込んだ計画手法を提案し、その実用性を考察する。

リサイクルや環境保全が叫ばれるストック重視型の現代社会において、既存建物への室再配置計画は、建物を長寿化させて要求の変化に順応させる新たな価値観に基づいた配置計画のテーマであり、従来の建築計画学ではほとんど対象とされてこなかった。既存建物固有の構造的な制約条件を考慮するとき、新築建物の配置プランを求める配置計画手法に比べて難解な問題となり、評価の基準も複雑となる。要求諸室の内訳および間仕切り壁の変更を考慮することで、建物の転用価値が変化する変則的な箱詰問題となる。このような配置計画では、ゾーニングの明快さや形態の整合性が重視され、空間と組織の構成要素が互いにどのような所属にあるのか、つまり、組織の階層構成と建物の階層構成の関係をどのように明快な図式として表記することができるかが、配置プランの評価において重要な意味を持つ。

本章では、2棟の既存建物に2つの組織を再配置する問題を扱うが、間仕切り壁の変更などの改修を行うことを前提としたとき、構造スパンやコアなどの制約条件の下に、各室の要求面積と既存建物内に割り当てられる面積の妥協点を探索する問題となる。既存建物ごとにその構造によって決定される単位空間（ユニット）を設定し、計画者が階層的な組織構成の各レベルのまとまり度合いの重み付けを計画目標として与えるとき、あるレベルのまとまり度合いを重視すると、他の組織レベルのまとまり度合いが低下し、各室の要求面積と割り当てられる面積の間に生じる誤差が増減する相制関係が生じる。「組織の階層構成を表す図式」と「建物の階層構成を表す図式」に基づく評価式に対して個別の計画目標を反映させることで、ゾーニングや各要求諸室の充足度のパターンの異なる配置プランを効果的に導くことができることを示したい。

### （Ⅲ）計画全体を評価する尺度を明示的に設定できない配置計画

建築は多様な解釈や評価が可能であるため、計画全体に対して常に優れて説得力のある概念や価値観を定めることができるわけではない。むしろ、背景や条件が複雑で、計画全体が目指すべき方向性を明確に示すことが困難な場合が多い。目的の不確定性については、多くの議論があり、特に都市計画の領域では、目的を選択する計画方法などの研究もなされている[P. Davidoff 1962]<sup>文献29)</sup>。また、計画目標がプロセスを通して不変であることは稀であり、計画途中の各段階で、状況に応じ



てその都度最良と考えられる判断が下され、初期段階で設定した目標が無意味となるケースは珍しくない文献<sup>30)</sup>。計画規模が拡大するほど、このような傾向は強くなると考えられるが、このとき、計画の初期段階における目標を暫定的なものと捉え、計画全体を評価する明示的な尺度をあえて設定しない方が好ましい。Alexander は、計画全体の目標を明確に定める近代の全体主義的な計画法の限界を指摘し、個々の建設行為が互いに協調することによって、各段階に計画を規定していくプロセスの重要性を説明している文献<sup>2, 3)</sup>。

既往の配置計画手法では、計画者が計画全体の価値観を明確に設定することではじめて手続き的に配置プランを導くことが可能となり、上記のように計画全体を評価する明示的な尺度がない状況は想定されていない。計画全体の目標が決定していない場合であっても、部分が満たすべき条件や部分同士のローカルな関係に関しては、比較的容易にイメージしたり定義することが可能である。そこで、計画全体の計画目標を明確に示すことができない場合、計画者は、部分の相制関係が満たすべき暫定的な目標を設定し、それによって導かれる配置プランを経験的に評価することで、段階的に計画目標を具体化させる必要がある。計画目標の変化に応じて、部分の相制関係が満たすべき制約条件を調整したり新たに追加することで、第三者的に配置プランを評価するプロセスが有効であると考えられる。

第5章では、上記の計画プロセスをマルチエージェントシステムを用いることによって計画手法として実現し、大学キャンパスを事例として、大学を構成する複数の組織を配置する問題を解く。各組織に属する単位空間（以下、エージェント）を部分として設定する。各組織に専有される「組織エージェント」と、道路や敷地を表す「環境エージェント」を設定し、これらのエージェント同士の相制関係を、近傍に存在する他のエージェントの数の制約条件によって規定する。このとき、個別の計画目標は、影響範囲とその範囲内に存在する各種エージェント数の条件の組み合わせとして表現することができ、1つのエージェントが満たすべき相制関係は多目的となる。計画者は、対象をパラメータや目標値の設定を通して配置案をデジタルに調整することができるため、価値観や目標の変化に対応した配置プランの多様な可能性を容易に検証可能となることが期待できる。

#### （Ⅳ）時間的に変化する空間において部分と全体の相制関係が規定される配置計画

大学やニュータウンをはじめとして、高度成長期に建設された大規模な施設群の多くは更新の時期を迎えている。このような施設群の建替計画では、施設の機能を維持しながら段階的に施設の更新を行うことが前提とされ、最終的な配置プランが完成するまでには長い期間が必要となる。最終

的な配置プランと同等に変遷過程における配置プランを評価し、建替期間を通して、十分な機能性と良好な環境が保たれるように配慮することは、計画の重要な課題である。

一般的に、配置計画の目的は、部屋や建物の定常的な配置状態を決定することであるが、変遷過程における時間的な条件を考慮した配置プランを計画する。従来の建替計画では、主としてコストや工期管理の視点から制約条件が決定されてきたが、空間の時間的変化の観点に基づいて建替計画を検討する手法を示すことの意義は大きい。

第6章では、大学キャンパスの施設建替計画を事例として、大学の機能と良好な外部環境の維持という二目的に対し、変遷過程における配置プランを決定する計画手法を、部分と全体の相制関係のモデルを用いて提示する。大学施設群の建替計画は、年次ごとの予算の制約条件の下、段階的な施設の更新を余儀なくされる逐次建替の好事例である。定常的な配置プランを導く場合には、階層的な空間構成において部分と全体が定義されるが、本章では、各年度における配置プランの評価を部分として定義し、最終的な目標配置プランが完成するまでの配置プランの時間的な変化の軌跡を全体と考える。この部分と全体の相制関係を、機能が満たされている程度を表す「総延床面積」と、キャンパスの外部空間の環境を表す「総立面面積」の2つの評価尺度によって評価する。建替期間を通して、総延床面積の総和を最大化することと、総立面面積の総和を最小化することとして計画目標を与えるとき、この2つの計画目標はトレードオフの相制関係を成す。二目的最適化によってパレート最適解集合を獲得し、そこからパレート最適解を選択して具体的な空間や2つの尺度の値の変化を表記することで、計画者は計画スケジュールを総合的に評価して建替計画を決定することが可能となる。本章の事例を通して、配置計画における部分と全体の相制関係のモデル化と知的システムの援用のさらなる応用の可能性を示したい。

#### 1.4 論文の構成

論文の章構成を図1-4に示す。第2章及び第3章は、部分と全体の相制関係が単目的に規定される問題であり、第4章、第5章、第6章は、多目的に規定される問題である。章を追うごとに、単体建築である病院手術棟の室配置問題から大学キャンパスの施設配置問題へと、対象規模が拡大した複雑な問題を扱っている。

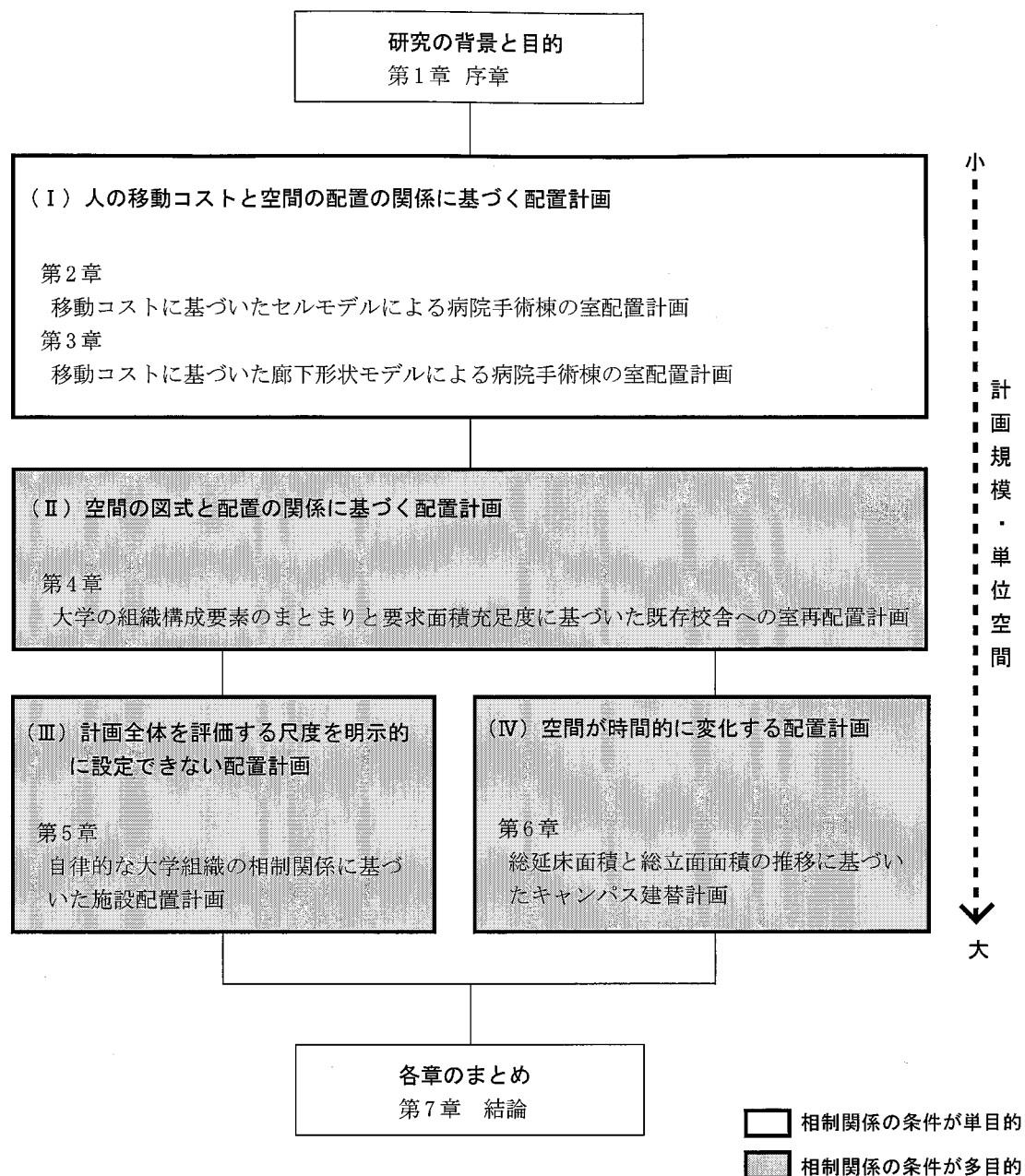


図1-4 章構成

## 注釈

注1) Wholeness 全体が部分を規定していくという「全体主義」的ニュアンスとは区別される。この概念は、ある実体が見れば全体であり、上から見れば部分であり、自己主張と統合がバランスを保っている状態をいう。

(文献9)

注2) GAは生物進化のメカニズムを模倣した発見的な最適化手法であり、染色体として表記した解に対して交叉・突然変異・選択のオペレーションを行うことで、生物が自然淘汰され進化するように解を進化させる。GAは、1960年代に、I. Rechenbergの著書“Evolution strategies”で紹介された進化的計算法のアイディアを基に、John Hollandによって発明され、1975年に彼の著書“Adaption in Natural and Artificial Systems”で発表された。ニュートン法や勾配法といった従来の数学的手法に比べて探索効率が高く、少ない演算負荷で優秀な解を探索することが可能である。GAの説明において、しばしば最適化という言葉が使用されるが、実際には厳密な最適化を行うものではなく、適度なあいまい性を容認することで、演算処理の軽減と探索速度の向上させることが特徴とされる。遺伝子座の情報が部分の状態を表現し、その集合として全体を表現する染色体が構成され、優秀な部分と全体の関係が次世代に引き継がれるメカニズムとなっている。(文献35)

注3) ニューラルネットワークは、人間の脳のメカニズムを模倣したシステムで、学習能力によってパターン認識問題を解くことができることで広く知られている。ニューラルネットワークの研究は、1943年にマカロックとピッツによって、ニューロンの最初のモデル化が行われ、その後、多数のニューラルネットワークモデルが提案されてきた。ポップフィールドネットでは、エネルギーの概念を取り入れることによって、組み合わせ最適化問題を解くことが可能となり、さらにアニーリングによってより効果的に最適化問題を解くことができるようになった。最適配置問題としての歴史は古く、1960年代よりオペレーションリサーチの立場から「立地理論(locational theory)」として多くの研究が発表されている。ニューラルネットワークの最適配置手法には、ボロノイ図と呼ばれる幾何学に基づく手法と、クラスター分類を用いたパターン認識の手法があり、都市・建築分野の施設配置問題には一般的に後者の手法が用いられている。(文献36, 37)

注4) マルチエージェントシステムは、多数の自律的に行動する行動主体(エージェント)が協力して、全体の問題を解決する分散型システムである。マルチエージェントシステムは、ゲーム理論との関連性を持っており、複雑系としての特徴をもつ現象を理解する上で、エージェントやその集合であるエージェンシーの概念が用いられる。それぞれのエージェントが、個別の行動ルールに従って自分の環境を知覚し、自分の目標を達成するように振舞い、相互の交渉・均衡によって、単体では不可能であった複雑な処理が可能となる。一般的には、システムの信頼性や作業効率を向上させる効果が期待されている。(文献38)

## 参考文献

- 1) 渡辺要他：計画原論，常盤書房，1920
- 2) C. アレグザンダー他：オレゴン大学の実験，鹿島出版会，1977
- 3) C. アレグザンダー他：まちづくりの新しい理論，鹿島出版会，1989
- 4) アリストテレス：形而上学(上巻)，岩波書店，1961
- 5) 森田慶一：西洋建築入門，東海大学出版，1971

- 6) 西山卯三：日本の住まいⅡ，勁草書房，1976
- 7) R. Llewelyn Davies, D. J. Petty: Building Elements, The Architectural Press, 1956
- 8) 内田祥哉他：建築構法，市ヶ谷出版社，1981
- 9) 内田祥哉：Building Element の考え方について，日本建築学会論文報告集 No. 66, 1960
- 10) Gips, J. : Shape Grammar and their Uses, Birkhauser-Verlag, 1975
- 11) Stiny, G. : Pictorial and Formal Aspects of Shapes and Shapes Grammars, Birkhauser-Verlag, 1975
- 12) H. Koning and J. Eizenberg: The language of the prairie - Frank Lloyd Wright's prairie houses - Environment and Planning B, volume 8, pages 295-323, 1981
- 13) ウィリアム・ミッチェル：建築の形態言語，鹿島出版会，1991
- 14) 青木義次他：スキーマグラマーによる空間分析の方法論と都市プランへの応用 - 建築空間分析のためのスキーマグラマーに関する研究 その1 -，日本建築学会計画系論文報告集 No. 446, pp. 99-109, 1993
- 15) 服部岑生：建築の空間構成を記述する形式言語(生成文法)の可能性、日本建築学会計画系論文報告集 No. 446, pp. 89-98, 1993
- 16) Peter G. Rowe: Design Thinking, The MIT Press, 1987
- 17) A. Klein: Neues Verfahren zur Untersuchung von Kleinwohnungsgrundrissen, Stadtebau 23 Jahrg, 1928
- 18) 西山卯三：建築計画における動線について，建築学研究，1936
- 19) B. Whitehead and M. Z. Elders: An Approach to the Optimum Layout of Single-storey Buildings, The Architect's Journal, 1964. 6
- 20) T. M. Willoughby: Computer-aided Design of a University Campus, The Architect's Journal, 1970. 3
- 21) 岡崎甚幸他：逐次近似型室配置・通路モデルの研究，日本建築学会論文報告集 No. 339, pp. 90-99, 1984
- 22) 青木義次：「プラン作成と遺伝進化とのアナロジー - 室配置問題の遺伝進化アルゴリズムによる解法 -」，日本建築学会計画系論文集第481号，pp. 151-156, 1996. 3
- 23) 太田利彦：動線計画の数学的解析(第1報)，日本建築学会論文報告集 No. 69 , pp. 293-296, 1961
- 24) 太田利彦：動線計画の数学的解析(第2報)，日本建築学会論文報告集 No. 74 , pp. 37-42, 1962
- 25) 川崎清：建築空間の論理構成，建築雑誌，1973. 11
- 26) 川崎清他：設計とその表現 - 空間の位相と展開 -，鹿島出版会，1990
- 27) Tabor, P: Analysing Communication Pattern, Cambridge University Press, 1976
- 28) 黒沢和隆：動線条件から平面構成パターンを導く図法を用いた住宅平面型のパターン分析手法、日本建築学会論文報告集 No. 392, pp. 41-50, 1988
- 29) Davioff, P. et al: A Choice Theory of Planning, Journal of American Institute of Planner Vol. 1153, pp. 103-115, 1962. 5]
- 30) 岡田光正他：現代建築学 建築計画1，鹿島出版会，1987
- 31) 原広司他：新建築学大系23 建築計画，彰国社，1982
- 32) Scher Peter: Theory of Design, The Architects' Journal, 1965

- 33) ジョン・ラング：建築理論の創造，鹿島出版会，1992
- 34) 鈴木博之他：現代建築の発想，丸善，1989
- 35) 北野宏明編：「遺伝的アルゴリズム①・②」，産業図書，1993・1995
- 36) 武藤佳恭：ニューラルネットワーク，産業図書，1996
- 37) 武藤佳恭：ニューラルコンピューティング，コロナ社，1996
- 38) 山影進，服部正太 編：コンピュータのなかの人工社会ーマルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系ー，共立出版，2002

## 第2章 移動コストを評価尺度としたセルモデル による病院手術棟の室配置計画

### 2.1 はじめに

#### 2.1.1 本章の目的と方法

#### 2.1.2 既往研究

### 2.2 セルモデルの設定

### 2.3 染色体へのコード化

### 2.4 順序表現によるGAオペレーション

### 2.5 パラメータの設定

### 2.6 線形型の最適配置計画手法との比較の結果

### 2.7 まとめ

### 参考文献

## 2.1 はじめに

### 2.1.1 本章の目的と方法

本章では、人の移動コストと空間の配置の関係から配置プランを求めることを目的として、単位空間相互の人の移動量に基づいて探索するモデルを設定し、GAを用いた室配置計画手法を提示する。21の要求諸室を持つ病院手術棟の室配置問題を事例として、計画の初期段階において要求諸室のおおよその位置関係と平面形状を獲得することを目指す。

GAは、設定した評価の尺度に対して優秀な解を自然淘汰的に選択していく最適化システムとして注目を集めている。設計者が試行錯誤を繰り返しながら設計解に到達するプロセスや設計過程での「飛躍」が、GAの「進化のアナロジー」に類似している。一般的なGAの特性として、「解の組合せの選択をアルゴリズムに委ね、計算の途中過程に人間の判断を介在させず、解の組合せの偶然性に依拠した解の探索空間の広さ」、「膨大なデータ量の伴う組合せ探索において優秀解を求めるのに必要な計算量の軽減による計算の効率性」の2つが挙げられる。建築の配置計画の問題は、あり得る限りの全ての組合せを列挙することや、その各々に対して十分な評価をおこなうことは不可能に近い。GAの特性の后者に挙げられた計算量軽減の仕組みは、手続き的でありながらも確率的に

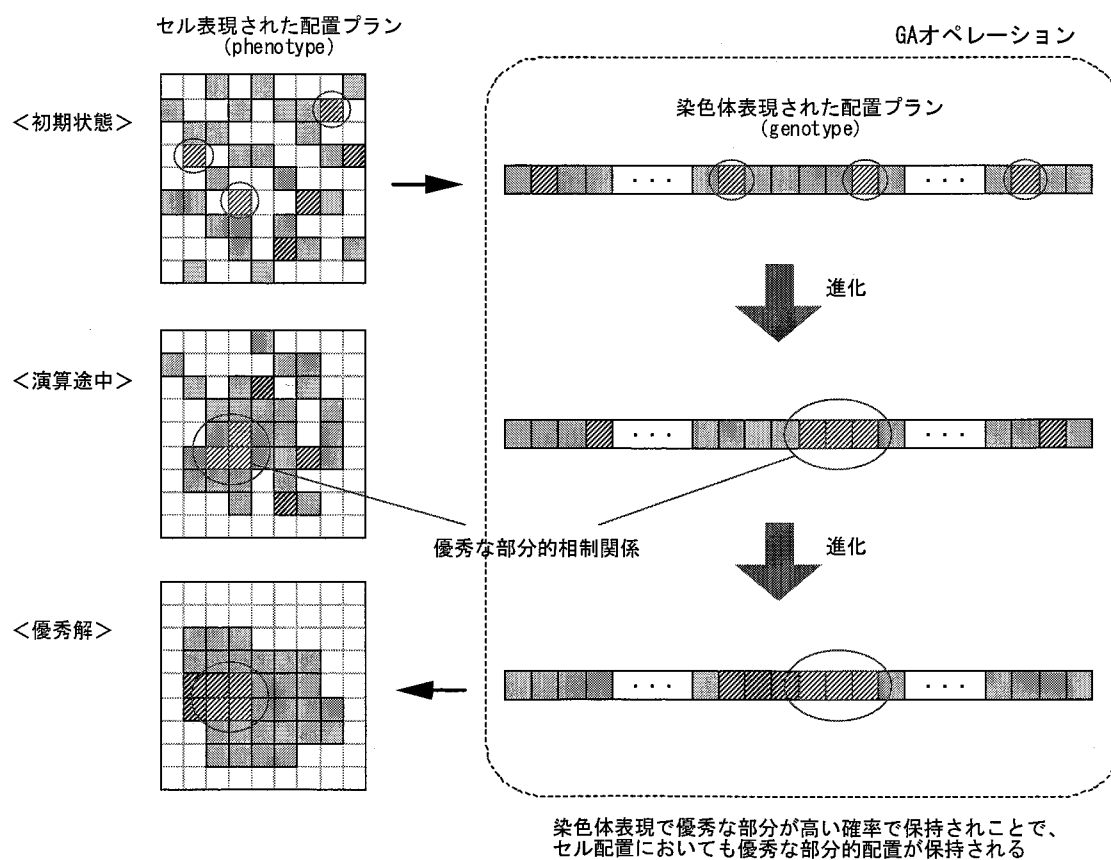


図2-1 GAによる優秀な部分の相制関係の保持



決定される不確定要素が多いため、最適化手法としてではなく、条件充足手法としての援用に適していると本論では考える。配置計画では、一般的に、ある尺度に基づいて案を複数に絞り込んだ後、それを別の尺度に基づいて比較することで1つの案に絞り込む操作が行われる。そこで、GAの進化計算を援用して、設定された評価の尺度の目標値を定めることで、それを満たす優秀な候補解集合を、計画者の選択肢として提示する計画手法を考える。

GAでは、1つの個体は遺伝子座の配列である染色体として表現され、個々の遺伝子座を自立的な単位空間に対応させることができるため、部分と全体の相制関係をモデル化するのに適している。GAのオペレーションでは、染色体表現された配置プランの進化過程において、ローカルで優秀な配置を表す染色体の一部分を高い確率で保持することによって効率的に優秀な全体を導くことができる。この特性は、単位空間同士の優れた部分的関係を保ちながら、全体としてさらに優秀な配置プランに次第に近づいていく過程を適切にモデル化するものと考えられる。

要求諸室をさらに分割した単位空間としてセルを用いて、セルの配置として配置プランを考える。1964年にThe Architects' Journal Information Libraryに発表された線形型の最適配置計画手法である“AN APPROACH TO THE OPTIMUM LAYOUT OF SINGLE-STOREY BUILDINGS”<sup>文献1)</sup>(以下、AOLSB)と同じ配置モデルに対し、同じ評価尺度である移動コストを用いてGAによる優秀解の探索をおこない、双方の結果の比較を通して、部分と全体の相制関係に基づいた室配置計画手法の有効性を検証する。

## 2.1.2 既往研究

GAは、発見的な最適化手法と呼ばれ、唯一の最優秀解ではなく、少ない演算処理によって最優秀解と同等の高いレベルで条件を満たす優秀解の探索に優れている。解の充足条件を調整することで、計画者の意図に応じたレベルで評価の尺度を満たす多様な優秀解の獲得が可能となると考えられる。セルモデルによる配置プランを染色体として表記し、染色体をGAオペレーションによって進化させることで、染色体の内部に優秀な部分を発生させ、それを高い確率で保持することで、優秀な部分の集合としての全体を形成する。

建築の配置計画に対するGAの援用は、青木が、室配置問題の総交通コストに基づく最適化に関する論文<sup>文献2)</sup>において、プラン情報を遺伝整列である染色体として表記する手法を提案し、さらに室配置問題を中心とした平面計画への応用の可能性を示した<sup>文献3)</sup>。村岡他は、GAによる平面形状の最適化の過程がゾーニング手法をはじめとする一般の建築設計に見られるノウハウの獲得と一致

する結果を獲得した文献<sup>4)</sup>。これら研究によって、与えられた条件下で、計算量を飛躍的に軽減させて比較的容易に「最適解」を獲得する手法の有効性と共に、複雑系としての建築・都市の計画をおこなうシステムとしてのGA適用の可能性が示された。

## 2.2 セルモデルの設定

移動コストは、人の移動量をコストとの関連に基づいて評価するための尺度である。移動コストは、AOLSBをはじめとして既に多くの配置計画において配置プランを評価する尺度として多用されており、青木他による室配置問題へGAを適用した研究<sup>文献3、4)</sup>においても用いられている。AOLSBでは、図2-2に挙げる病院手術部門の観察調査から求めた各室間のスタッフの移動人数に、給料による重みづけをおこなった値を標準移動人数と定義し、この標準移動人数の値の大きな室同士がより近くに配置されることがよい配置プランとしている。本章においても、全てのスタッフの標準移動人数と移動距離の積の総和を移動コスト（①式）とし、この値が小さくなるものを優秀な配置プランとする。

$$\sum \sum (2 \text{ つの室の標準移動人数 } J) \times (2 \text{ つの室の距離 } L) \quad \cdots \text{①式}$$

2つの室の標準移動人数は表2-1のアソシエーションチャート（Association chart）を参照し、

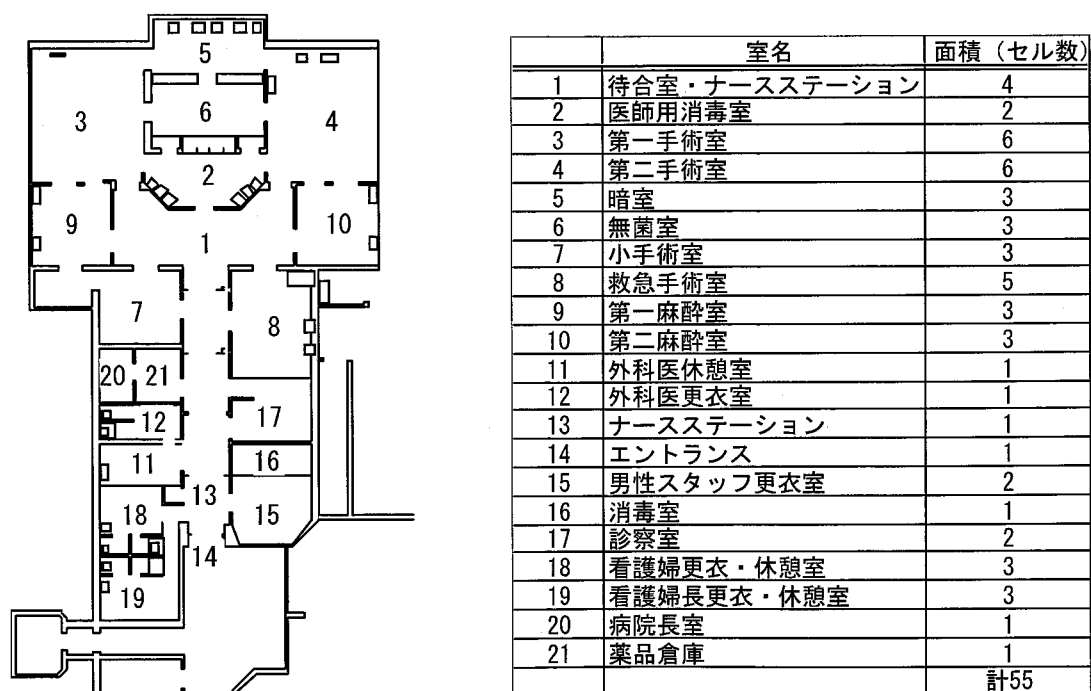


図2-2 対象とする病院手術部門の平面図と要求諸室

この値に基づいて移動コストを算出する。ある2つの室A, Bがあり、それぞれの面積を $S_A$ ,  $S_B$ 、AB間の標準移動人数を $J$ とする。各室はセルの集合体であるので、セルの面積の単位を $S$ とすると、 $S_A$ ,  $S_B$ は、

$$S_A = m \times S \quad S_B = n \times S \quad (m, n \text{ は整数})$$

となる。さらに、A, Bに属するセルを $a, b$ とすると、 $ab$ 間の標準移動人数は $j = J/mn$ と表すことができるため、①式は②式のように書き換えられる。以下、この関数の値を評価値と呼ぶ。 $j$ の値は、アソシエーションチャートに基づいて、リレーションシップマトリクスとして、表2-2が決定される。

$$\sum \sum (2 \text{ つのセルの標準移動人数 } j) \times (2 \text{ つのセルの距離 } 1) \quad \dots \text{ ②式}$$

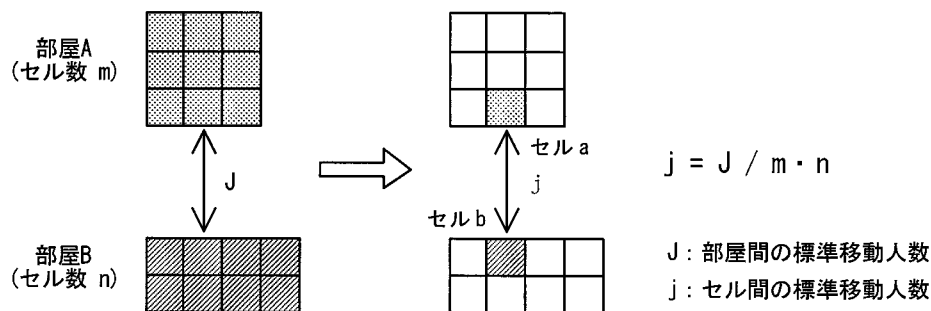


図2-3 部屋の分解と標準移動人数の変換

つまり、すべての部屋を構成するセル間の移動人数に、そのセル間の距離をかけたものの総和と読み替える。この読み替えにあたり、同じ室に属するセル間の標準移動人数をどう扱うかが問題となる。本章ではAOLSBと同様に、同じ室に属するセル間の標準移動人数は、異なる室に属するセル同士の標準移動人数に対して非常に大きな値（表2-2の網掛け部分）を与えることで、同じ室に属するセル同士が隣接する配置が進化の過程で高い確率で生き残るように調整している。

### 2.3 染色体へのコード化

図2-2に示したように、すべての部屋の面積は単位空間となるセル（ $3m \times 3m = 9 \text{ m}^2$ ）の整数倍として与えられるため、セルの配置が生成される2次元格子平面の配置モデルを図2-4のように設定する。以下、「マス」は2次元格子平面中の位置情報を付加された単位とする。室配置問題は、2次元格子平面上のどのマスに、どのセルを配置するかを決定する問題となる。

表2-1 Association chart

(出典: B. Whitehead and M. Z. Elders, An Approach to the Optimum Layout of Single-storey Buildings,  
The Architect's Journal Information Library 17, 1964)

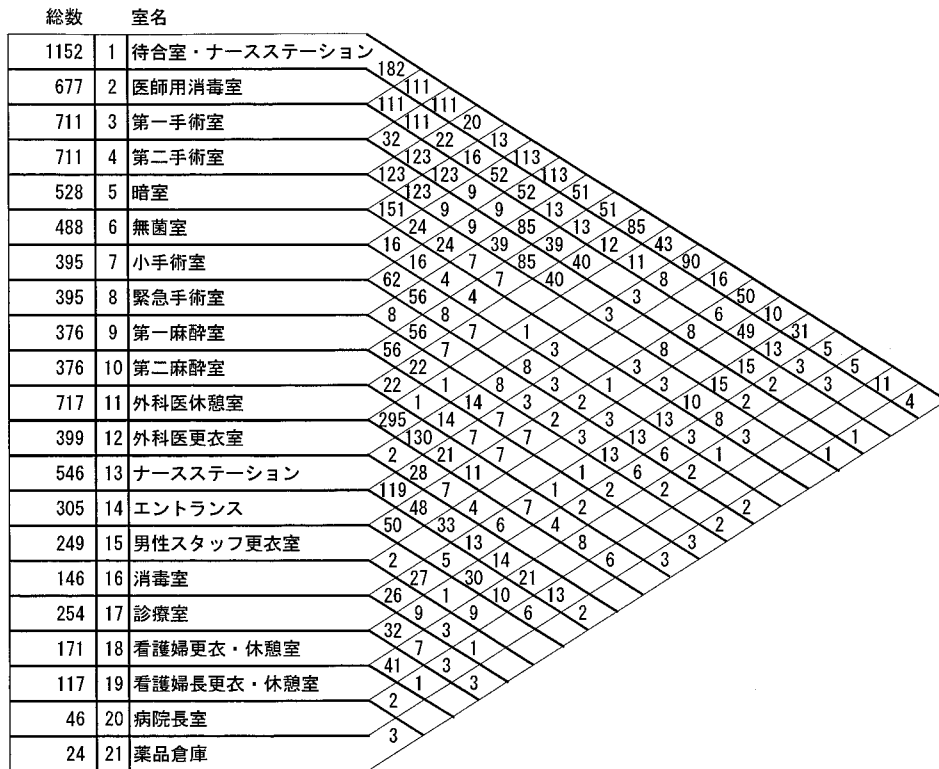


表2-2 セルのRelationship matrix

室名	セル番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
待合室・ ナースステーション	1																					
	2	1000																				
	3	1000	1000																			
	4	1000	1000	1000																		
医師用消毒室	5	22.75	22.75	22.75	22.75																	
	6	22.75	22.75	22.75	22.75	1000																
第一手術室	7	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25															
	8	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	1000														
	9	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	1000	1000													
	10	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	1000	1000	1000												
	11	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	1000	1000	1000	1000											
	12	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	1000	1000	1000	1000	1000										
第二手術室	13	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89									
	14	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1000								
	15	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1000	1000							
	16	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1000	1000	1000						
	17	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1000	1000	1000	1000					
	18	4.63	4.63	4.63	4.63	9.25	9.25	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	1000	1000	1000	1000	1000				
	19	1.67	1.67	1.67	1.67	2.75	2.75	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83

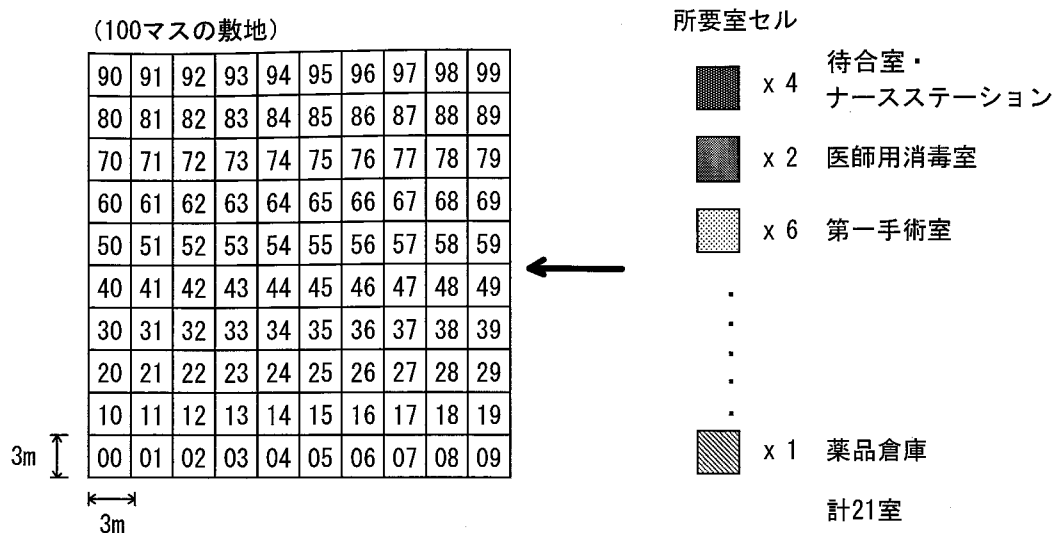


図2-4 2次元格子配置モデル

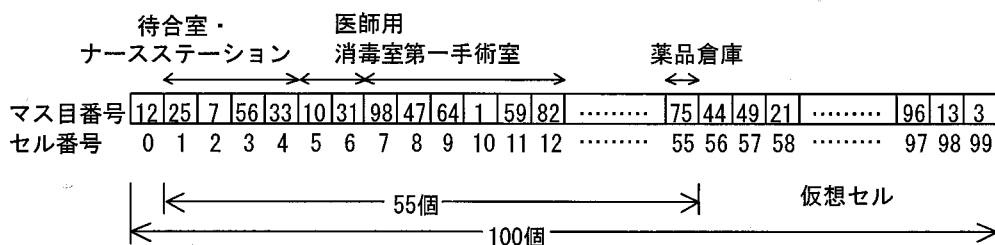


図2-5 染色体へのコード化

要求諸室の面積の総和は、マス数に換算すると計 55 マスであるが、配置プランの十分な多様性を表現できる配置モデルとして 100 マスの 2 次元格子平面を用意し、45 個の仮想セルを加えた 100 個のセルの配置問題として扱う。これらの仮想セルと室名の対応するセルとの間、および仮想セル同士の間の標準移動人数はともに 0 となる。

GA で用いる染色体には「図 2-4 で決定したマス目の位置情報（以下格子番号）」と「セルの種類（室名）の情報」を格納する。予め、各遺伝子座のどの位置の値がどの室のセルの位置情報を示すかを図 2-5 のように設定する。

このモデルでは、「セル間の距離」を「セルの中心間距離」と簡略的に定義する。セルの 1 辺の長さを 1 としたとき、図 2-4 のように格子番号を設定したとき、任意の 2 つのセル a, b 間の距離 1 は次式となる。

$$l = (a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2$$

\*セル a, b のそれぞれの座標を  $(a_1, a_2)$   $(b_1, b_2)$  とする

\*但しセル a, b の入る格子の番号は各々  $10a_1 + a_2$ 、 $10b_1 + b_2$ 、 $(a_1, a_2, b_1, b_2$  は 0 から 9 の整数) と表せる

## 2.4 順序表現におけるGAオペレーション

### ・交叉

2つの親となる染色体を掛け合わせて新しい子の染色体を作る操作は交叉と呼ばれる。交叉には遺伝子の切断点の数により、一点交叉、複数点交叉、一様交叉などのバリエーションがある。本章のシミュレーションでは二点交叉を用いるが、遺伝子化において順序表現という方法を使用しているため、一般的な2進数表記の染色体で行われている交叉方法を用いると、1つの染色体の中に遺伝子情報が重複する致死遺伝子が高い確率で発生することになる（図2-6）。

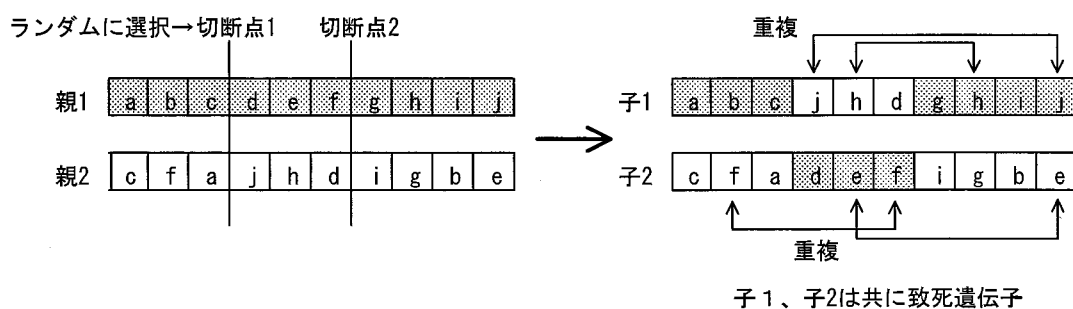


図2-6 情報の重複による致死遺伝子の発生

このような致死遺伝子の発生を抑制するために、連続する自然数を扱った遺伝子情報の組み替え手法<sup>文献6)</sup>を用いる(図2-7)。まず、2つの切断点をランダムに選択したとき、2進数表記の染色体の二点交叉と同様に、親2の2つの切断点によって切り取られた遺伝情報が子に受け継がれる。このとき、遺伝情報の位置も正しく受け継がれる。次に、切断点2の次の遺伝子座が開始点として選択される。図2-7では、位置8の遺伝子座が開始点となる。子1[8]の遺伝情報には、親1[8]の遺伝情報が与えられることになる。しかし、親1[8]=hはすでに子1[5]に存在するため、親1は子1にまだ存在しない遺伝情報を位置番号に従って検索する。検索は開始点からはじめ、遺伝子の最後尾まで行っても検索できないときは、遺伝子の先頭から続ける。h、i、jがすでに子1に存在しており、子1[8]=親1[2]=bとなる。同様の手順で検索を繰り返し、子1[9]=親1[3]=c、子1[10]=親1[4]=e、子1[1]=親1[6]=f、子1[2]=親1[7]=gとなり、子1ができる。子2に関しても、親1と親2の役割を入れ替えて同様の手順によって生成される。

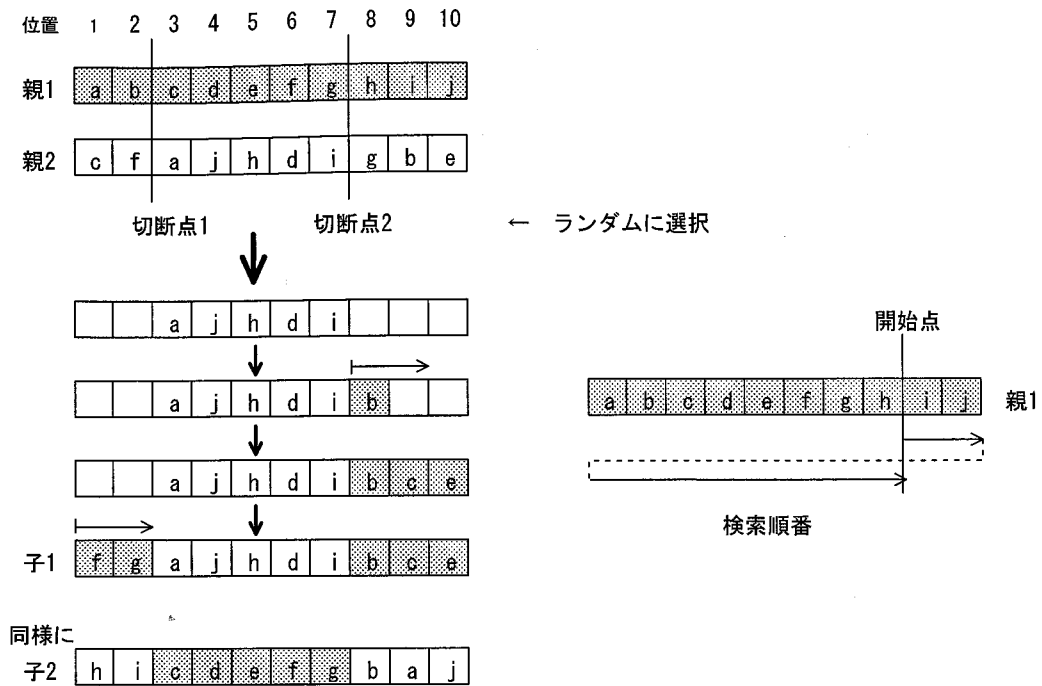


図2-7 順序表現された遺伝子情報の組み替え手法

## ・突然変異

二進数表記の染色体での突然変異とは、ある遺伝子座の情報が「0」ならば「1」へ、「1」ならば「0」へ反転させられることである。ところが順序表現の染色体においては1つの遺伝子座の情報だけを変化させると致死遺伝子をつくることになる。そこで、図3のように染色体の2つの遺伝子座をランダムに選択し、その中の値を入れ替えることを突然変異と定義する。

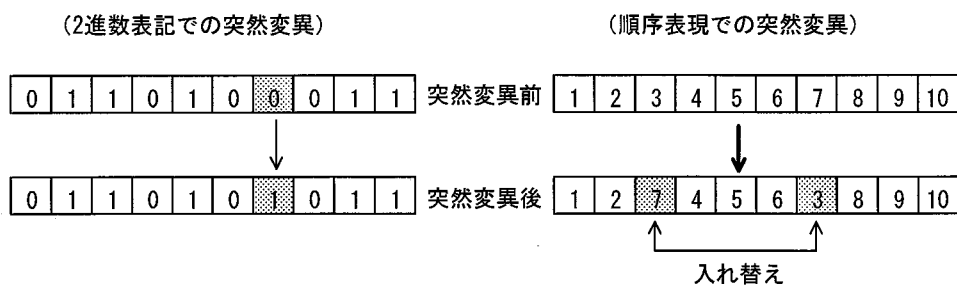


図2-8 順序表現における突然変異の定義

## 2.5 パラメータの設定

図2-5に示したように、染色体の遺伝子長が100と非常に長く、この染色体で表記可能な個体は100!通りある。100!個の解を持つ広大な探索空間において、最適解に効率的に近づくためには、基本的にパラメータの設定方法には2つの方向性が考えられる。1つ目の方法は、個体数を大きくすることで、ランダムに選択される初期集団において多様性を確保するものである。しかし、個体数を大きくすることは計算量を増大させるため、GAのメリットを半減させることにつながる。もう1つの方法は、突然変異率を高くすることである。交叉が、初期集団から発生可能な解の探索範囲を絞り込む役割を果たすのに対して突然変異は先に淘汰された解を復活させたり、それまで全く評価されていなかった解を発生させることで、解の探索範囲を広げる役割を持っている。つまり、GAでは解の探索範囲を絞り込む交叉と逆に拡大する突然変異の2つのGAオペレータが、補完関係にあって解の網羅的な探索を可能としている。以上のように、突然変異率を高くすることは解の探索範囲をより広域的にし、局所解への収束を防ぐ方向に作用するが、突然変異率を高く設定しすぎるとランダムサーチとの差がなくなるという問題もある。

以上のことを考慮した上で、本章では試行錯誤の結果、個体数 = 1000、交叉率 = 0.6、突然変異率 = 0.4、ジェネレーションギャップ = 0.1（親世代の特性を適度に保持させるため、全個体数にこの値を乗じた個体数を次世代に残す）と設定する。

## 2.6 線形型の最適配置計画手法との比較の結果

GAを用いた配置計画手法によって導かれた、評価値の優秀な配置プランの一例を結果1として図2-9に示す。この配置プランは、図2-10に示す収束過程を経て、316世代目に獲得されたもので、評価値は $6.8815 \times 10^6$ となる。収束後も引続き500世代まで操作を繰返したところ、評価値が $6.8768 \times 10^6$ まで到達することが確認された。316世代目の配置プランと500世代目の配置プランの評価値の差は1%未満であり、同等に優秀な配置プランと見做すことができる。結果1の配置プランと線形型の最適化手法であるA0LSBによって導かれた配置プラン（図2-11）を比較することにより、GAの特性を明らかにし、条件充足型の多解生成システムとしての有効性を考察する。

### ・演算負荷

100マスの格子に55のセルを配置するとき、全検索の評価回数は、 ${}_{100}P_{55} / \{(1 \text{ 室内に含まれるセル数})! \times \text{全室分}\}$ となる。A0LSBでは、このような天文学的数の評価回数を軽減するために、



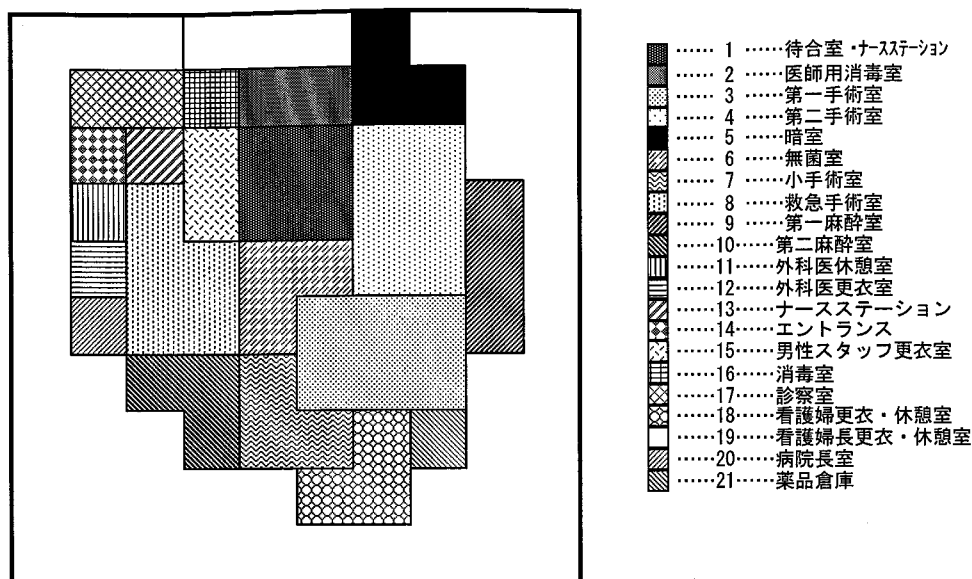


図2-9 結果1による配置プラン[評価値  $6.8815 \times 10^6$ ]

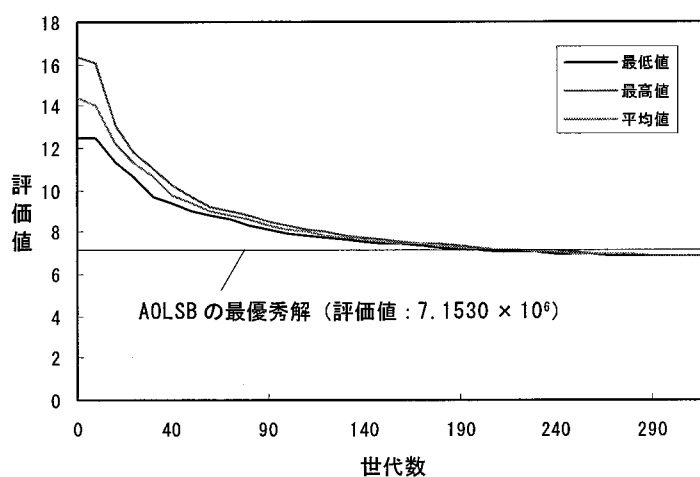


図2-10 評価値の推移

AOLSBでは移動コストが最大となる室をマス目の中央位置にまずは配置し、以下移動コストの大きな室から順に配置するといった明確な手続きによって増殖的に配置プランを形成することで、演算負荷を軽減するように工夫されている。これは予め解の探索範囲を狭く限定する経験や知識のモデル化と言い換えることができる。

本章の手法では、図2-9に示された「優秀解」を導くために必要な評価回数は次式となる。

$$\begin{aligned} \text{評価回数} = & (\text{初期個体数}) + \{(\text{交叉率}) + (\text{突然変異率})\} \times (\text{個体数}) \\ & \times \{1 - (\text{ジェネレーションギャップ} \cdot g)\} \times (\text{世代数}) \text{回} \end{aligned}$$

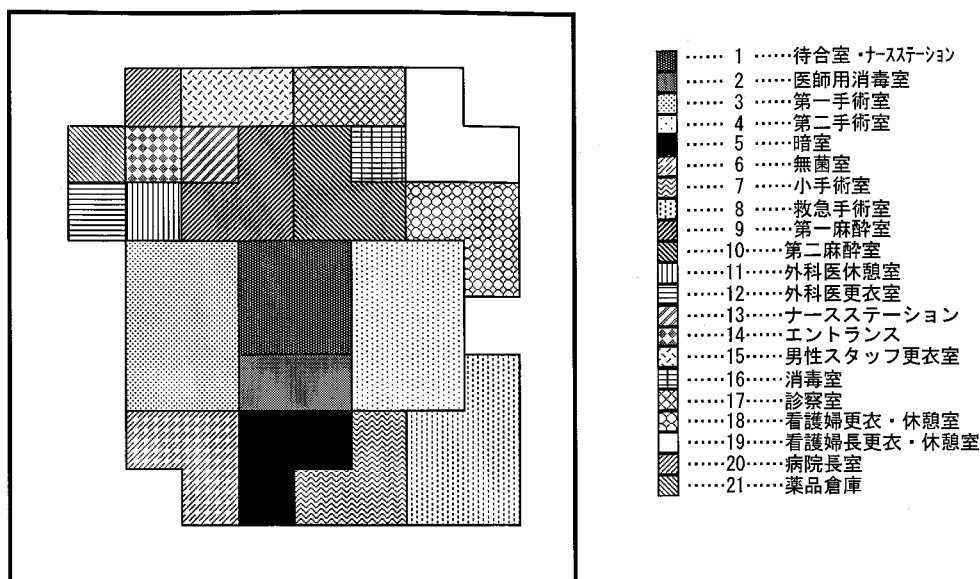


図2-11 AOLSBによる最適配置プラン[評価値  $7.1530 \times 10^6$ ]

(出典: B. Whitehead and M. Z. Elders, An Approach to the Optimum Layout of Single-storey Buildings,  
The Architect's Journal Information Library 17, 1964)

この式にパラメータの各数値を代入すると、結果1の優秀解に辿り着く迄の評価回数が求められる。演算負荷の比較のみでGAとAOLSBのどちらが優れているとは一概には言えない。AOLSBでは、演算負荷を軽減させるためにサブルールを導入しているが、その際、候補解の集合に対してサブルールに該当しない解を評価することなく除外することで、意図的に探索範囲を限定している。計画に対する価値観が固定的で、それをモデルとして記述できる場合、最優秀解を確実に見つけ出すことができるという利点はあるものの、評価の尺度に対して優秀な解が存在していたとしても、サブルールの枠組みで評価されないために見つけ出すことができないという特性は、大きなデメリットである。一方、GAを用いた配置計画手法では、AOLSBのように解の探索範囲を予め限定することなく、探索範囲からランダムに初期集団を選択し、探索範囲を収束させると同時に適度に拡大させるオペレーションによって、全検索に対して非常に少ない評価回数で、網羅的な探索を実現している。

#### ・複数の優秀解と配置プランの多様性

結果2(図2-11)は、結果1と同じパラメータを用いた別の試行による配置プランである。ここでは、333世代で評価値  $6.8596 \times 10^6$  に収束しており、評価値および試行回数共に結果1にほぼ等しい。AOLSBでは、待合室・ナースステーションからの移動人数が最も多い消毒室が、これらの室に必ず隣接するように配置され、隣接しない配置プランは初期段階において評価の対象から除外され

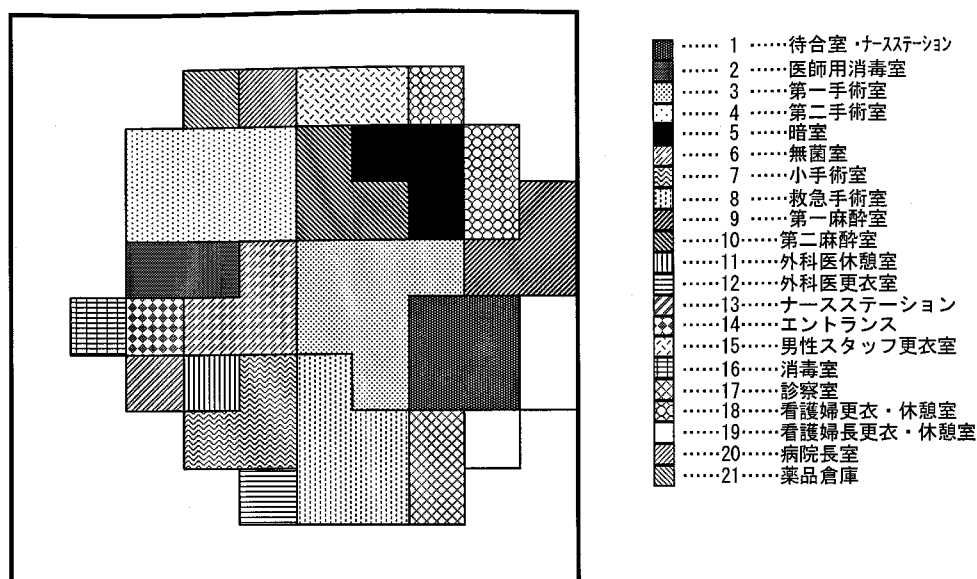


図2-12 結果2による配置プラン[評価値 $6.8596 \times 10^6$ ]

ている。これに対し、結果2では、待合室・ナースステーションと消毒室が両端に離されて配置されており、AOLSBのサブルールに全く当てはまらない特徴を持つ配置であるにも関わらず、全ての室の位置関係を総合的に評価した場合、両室が接するAOLSBによる配置プランよりも評価値が好成績である。このことは、GAを用いた配置計画手法は、AOLSBのように良好な解を得るためにサブルールが設けないことで、同じ評価の尺度に対して同等以上に優秀で、AOLSBでは評価することのできない複数の配置プランを導くことができることを確認した。

AOLSBにおける探索では、明確な解のイメージに基づくサブルールによって限定された探索範囲内で、どの解が最も優秀であるかを見つけ出す作業に他ならず、計画者の主観が反映される余地はない。一方、本章の配置計画手法では、パラメータおよび探索の終了条件の設定において、計画者個別の様々な調整が可能である。GAでは、一般的に、解の広い探索範囲において世代を更新するにつれて次第に最優秀解に近づけていき、集団の中で最も優秀な個体の成績の変化率が十分に小さくなった状態を一般的に収束状態と見なして探索を終了する。しかし、この探索の終了条件は、上記のような収束状態となるときではなく、ある基準値を充足したときと考えることもでき、このようにGAを条件充足型の多解生成システムと捉えることで、同等レベルの複数の優秀解を積極的に求めることが可能である。AOLSBの評価値 $7.1530 \times 10^6$ を基準値としたときに導かれる配置プランを、結果1、結果2とともに図2-13左列に示す。

これら全ての配置プランにおいて、同じ部屋のセルは必ず隣接して一つの部屋と見なすことができるように配置されているほか、特に重要であると思われるセル同士（表2-3）は、隣接または近

い距離に配置されおり、極端に不自然な隔離は見受けられない。このことから、基準値を満たす多様な配置プランでは、重要なセル同士も良好な相制関係が保たれていることが確認でき、部分としても全体としても機能的な配置プランであると評価することができる。

表 2-3 セル間の移動コスト上位 10

順位	セルの種類		セル間移動コスト
1	外科医休憩室	外科医更衣室	295.00
2	外科医休憩室	ナースステーション	130.00
3	ナースステーション	エントランス	119.00
4	外科医更衣室	エントランス	28.00
5	エントランス	男性スタッフ更衣室	25.00
6	医師用消毒室	消毒室	24.50
7	ナースステーション	男性スタッフ更衣室	24.00
8	待合室ナースステーション	医師用消毒室	22.75
9	待合室ナースステーション	ナースステーション	22.50
10	待合室ナースステーション	外科医休憩室	21.25

GAによるセルの配置プランは、AOLSBのようにサブルールによって詳細が決定されていないため、AOLSBによる最適配置プランに比べて、建築的知識に基づいて判断した場合に病院手術棟の平面図としての完成度は低い。ここで重要なのは、この2つのシステムが導き出した配置プランの単純な比較ではない。ここで求められる配置プランに求められる役割を十分に認識したとき、評価の尺度を決定することができたとしても、最終的な配置プランは唯一の尺度によって評価されるべきではないため、それをどの程度満足させることが適当であるかを判断することは難しい。設定した尺度に対してそれを高度に満たす解の集合は、別の尺度に基づいて評価されることで、計画上の価値が高まる。図2-13右列では、要求諸室を①手術室、②直接的に手術室をサポートする諸室、③スタッフのための諸室及びその他、と3つの部門に分類し、そのゾーニングのパターンを示している。②と③の部門の集合や分散の程度が異なることによって、全く違ったタイプの配置プランとなることが確認できるが、このように、移動コストによってほぼ同等に評価されたこれらの配置プランは、ゾーニングという別の尺度に基づいて比較されることで、計画者の個別の目的に応じて選択されることが可能となる。

補足として、仮に以下のように(1)～(4)の簡単な作業ルールを設定したとき、図2-13のセルモデルによる配置プラン(図2-12左列)から、より具体的な配置プラン(図2-12中列)を作成することができる。

(1) 各室の形状を単純な矩形に修正し、また、プランの外形線の小さな凹凸を面積変化の大きくな

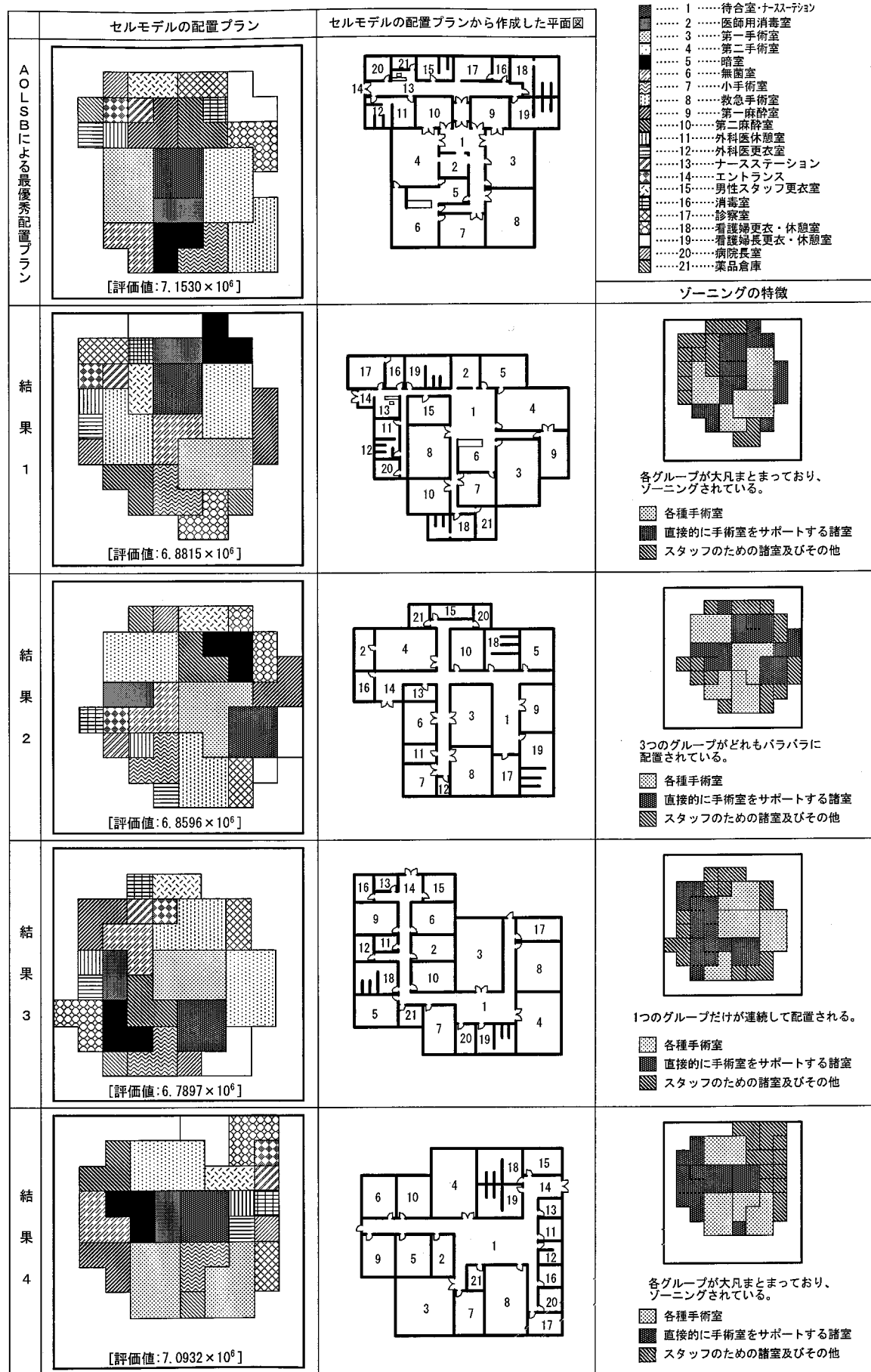


図2-13 評価の優秀なセルモデルの配置プランとそれをもとにした室配置を示す平面図

らない範囲で修正する。

- (2) 廊下をつくり、すべての室が廊下に面するようにする。
- (3) 各室は廊下に対し1つだけ出入口を持ち、廊下を介してのみ部屋の移動を可能とする。手術室などの、同一ゾーニングに属する室の出入口を同じ廊下に面して設ける。
- (4) 部屋同士の位置関係が適切に保持される範囲内で、室位置の変更および室形状の変形を許す。

## 2.7 まとめ

部屋を分割した単位空間としてセルを定義し、リレーションシップマトリクスに基づいてセルの位置を決定する過程においてセル同士が直接的または間接的に影響を及ぼし合う相制関係をモデル化することで、室配置計画の初期段階の各部屋の配置関係と部屋のおおよその形状を表現した配置プランを導く手法を提案した。AOLSBで導かれた配置プランの評価値を優秀解の選択の基準値とする条件充足型手法としてGAを用いることで、病院のスタッフの移動距離と移動人数の積を給料による重み付けを行った移動コストを高いレベルで低減させる優秀で多様な代替案集合を効率よく獲得することができることを確認した。

計画者の個別の計画目標に対して具体的な配置プランまで到達するプロセスでは、多くのヒューリスティックな検討が不可欠である。そのため、配置計画手法を構築する場合においても、全ての操作を一意的な手続きとして記述するのではなく、計画者の判断や試行錯誤を含んだ手続きとしてモデル化することが好ましいと考えられる。本章で提案したGAを多解生成システムとして用いる配置計画手法は、膨大な情報処理を知的システムに代行させると同時に、代替案集合の獲得プロセスにおける数々のパラメータ設定や獲得された代替案集合からの配置案の選択において、計画者の評価や判断を取り込んで計画者の創造的思考プロセスを簡略的にモデル化していると考えられる。

## 参考文献

- 1) B. Whitehead and M. Z. Elders: An Approach to the Optimum Layout of Single-storey, Buildings, The Architect's Journal Information Library 17, pp. 1373-1380, 1964. 6
- 2) 青木義次:「プラン作成と遺伝進化とのアナロジーー室配置問題の遺伝進化アルゴリズムによる解法ー」, 日本建築学会計画系論文集 第481号, pp. 151-156, 1996. 3
- 3) 青木義次他:「遺伝的アルゴリズムを用いた地域施設配置手法」, 日本建築学会計画系論文集 第484号, pp. 129, 1996. 6

- 4) 村岡直人他：「遺伝的アルゴリズムによる平面形状の最適化と設計ノウハウの獲得」，日本建築学会計画系論文集 第497号，pp. 111-115, 1997. 7
- 5) A. L. Corcoran and R. L. Wainwright: LibGA A user-friendly workbench for order-based genetic algorithm research, Proceedings of the 1993 ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing, pp. 111-118, New York 1993, AMC Press.
- 6) 瀧澤重志他：「遺伝的アルゴリズムを用いた都市の土地利用パターンの形成」，日本建築学会計画系論文集 第495号，pp. 281-287, 1997. 5
- 7) 山中浩明他：「遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析」，日本建築学会構造系論文集第468号，pp9, 1995. 2
- 8) 小野徹郎他：「知能生物に基づいたGAサーチー遺伝的アルゴリズムによる構造信頼性評価法に関する研究 その1ー」，日本建築学会構造系論文集第469号，pp 45, 1995. 3
- 9) 小野徹郎他：「知能GAの検討及びその構造信頼性問題への適用ー遺伝的アルゴリズムによる構造信頼性評価法に関する研究その2」日本建築学会構造系論文集 第476号，pp 31, 1995. 10
- 10) 岡田康男他：「最適信頼性設計へのGAの適用に関する研究」，日本建築学会構造系論文集 第470号，pp 29, 1995. 4
- 11) 林 康裕他：「GAと樹形モデルを用いた制振構造物の創生的基本設計」，日本建築学会構造系論文集 第480号，pp47, 1996. 2
- 12) 三井和男他：「遺伝的アルゴリズムの空間構造形態解析への応用」，日本建築学会構造系論文集 第484号，pp75, 1996. 6
- 13) 中澤祥二他：「ハイブリッドGAを用いた張弦梁構造のプレストレス導入部材最適配置の探索法に関する研究」，日本建築学会構造系論文集 第497号，pp99, 1997. 7
- 14) 皆川洋一：「多スパン山形フレーム構造の三次元析板効果と遺伝的アルゴリズムを用いた最小重量設計」，日本建築学会構造系論文集 第501号，pp77, 1997. 11
- 15) 長岡弘明他：「建築工事における労務平準化への遺伝的アルゴリズムの適用」，日本建築学会計画系論文集 第491号，pp183 , 1997. 1
- 16) 國藤進：「用語解説 発想支援システム」，人工知能学会誌，vol. 12 No. 3, pp476, 1997. 5
- 17) Young, L. F.:「Idea Processing Support:Definitions and Concepts, chapt. 8」, pp. 243-268, in Decision Support and Idea Processing Systems, Wm. C. Brown Publishers, 1988
- 18) 折原良平：「発散的思考支援ツールの研究開発動向」，人工知能学会誌，vol. 8 No. 5, pp560-567, 1993. 9
- 19) 杉本雅則他：「設計問題への発想支援システムの応用と発想過程のモデル化の試み」，人工知能学会誌，vol. 8 No. 5, pp575-582, 1993. 9
- 20) 「特集 発想支援システム」，人工知能学会誌，vol. 8 No. 5, 1993. 9
- 21) 川崎清，笹田剛史：「コンピューターによる設計のシステム開発ーPPSSの開発事例」，建築文化，1970. 2
- 22) 川崎清他：「施設構成理論その1～5」，日本建築学会近畿支部研究報告集，1969年
- 23) 岡崎甚幸他：「逐次近似型室配置・通路モデルの研究」，日本建築学会論文報告集 第339号，pp90-99, 1984. 5
- 24) 北野宏明編：「遺伝的アルゴリズム①，②」，産業図書，1993, 1995

### 第3章 移動コストを評価尺度とした廊下形状モデル による病院手術棟の室配置計画

- 3.1 本章の目的と方法
- 3.2 廊下形状モデルの設定
- 3.3 染色体へのコード化
- 3.4 パラメータの設定
- 3.5 結果
- 3.6 まとめ
- 参考文献



### 3.1 本章の目的と方法

本章では、具体的な機能性を満たす配置プランを求めることを目的として、第2章と同じ病院手術棟の室配置問題を事例として、スタッフの移動経路を考慮した移動コストを評価尺度とする配置手法を提示する。第2章の室配置問題との比較を通じて、部分と全体の相制関係に基づく配置計画手法における計画の目的、単位空間、評価尺度の定義の関連性およびその重要性に関して考察を行う。

建物の平面は複数の部屋が結合されることによって構成されるが、部屋を結ぶ方法はいくつかのタイプに分けられる（図3-1）。最もシンプルなのは、隣り合う部屋同士が扉によって直接結ばれるタイプである。このような結合は部屋同士の機能的な結び付きが強いときには有効だが、アクセスの自由度や個別利用において問題が生じる。そのため、個々が独立して機能する要求諸室の配置を検討する場合には、広間や廊下を設けてそれを介して部屋を結ぶ方法が一般的に用いられる。広間は、幅の広い廊下の延長として考えることもでき、また、部屋同士を直接扉で結ぶ方法に関しても、その部屋同士の結びつきを強く設定することで、結果的に廊下に面して隣り合うパターンとして置き換えられる。以上のことから、配置プランをより精緻な機能性で検討するためには、廊下形状と部屋の配置の関係を考察することは不可欠である。

上記のように計画の目的や着眼点が異なれば、当然のことながら新たなモデルの設定が必要となる。スタッフの移動を廊下上に限定するとき、その移動によって結ばれる単位空間は、面積も形状も異なる個々の部屋となる。空間単位が統一された形状とならないため、第2章で用いたような格子状の配置モデルをつくることができない。そこで、配置プランの骨格となる廊下形状のモデルを考え、配置プランをこの廊下形状モデルに対する各部屋の相対的な位置関係として表現する。評価尺度が変化することによって、それに応じた単位空間を選択することが求められ、また、配置モデルの変更も必要となるため、同じ対象を扱いながらも全く異なった配置計画となる。このような配

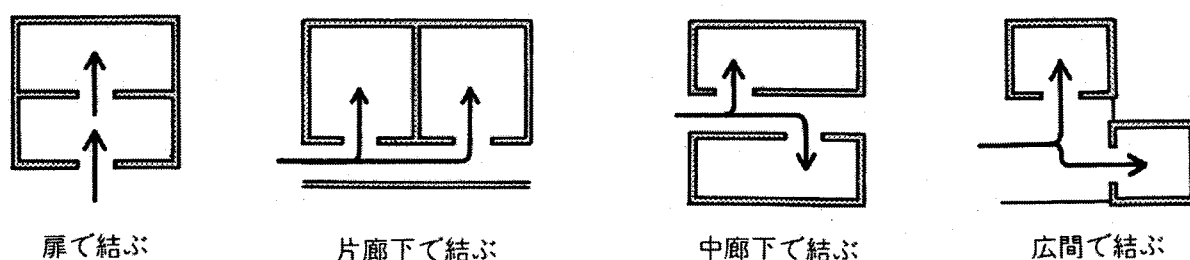


図3-1 部屋の結び方（出典：参考文献1）

置計画は、「連結の手法」において、セルモデルが「増殖型」に属するのに対し、「インフラストラクチャ型」と呼ばれる。解の探索においては、ここでもGAを条件充足型システムとして用い、移動コストの評価尺度を高度に満たす優秀解の集合を獲得する。

### 3.2 廊下形状モデルの設定

廊下上の移動距離を考慮する場合、同様に隣接する部屋同士であっても、各々の室の入口が向かい合っているか背中合わせであるかの違いによって、実質的な部屋の距離は全く異なる。つまり、部屋同士の移動距離とは入口と入口を結ぶ距離であるため、入口の設け方を定めなくてはならない。本章では、部屋の入口は部屋の廊下に接する間口の中央に1か所だけある場合の、入口間の距離を移動距離と定義する。さらに廊下を幅のない線状と考え、廊下の幅方向の移動距離は考慮しない。以上の内容を定式化すると、次式のように表される。

「2室間の距離」＝「廊下に接する入口（間口の中心）間距離」

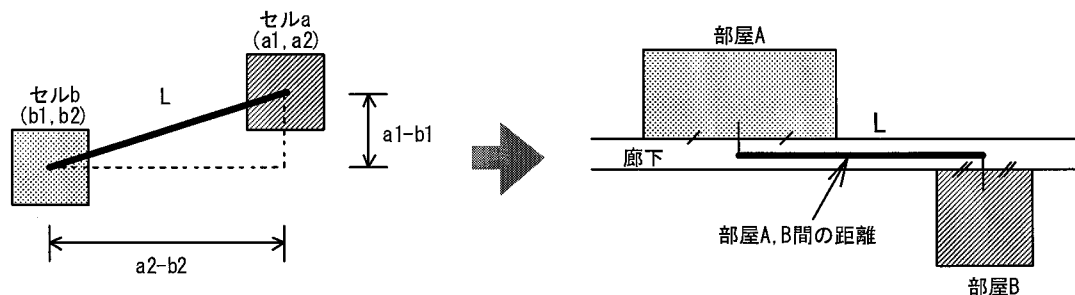


図3-2 モデルの変化に伴う単位空間同士の距離の定義

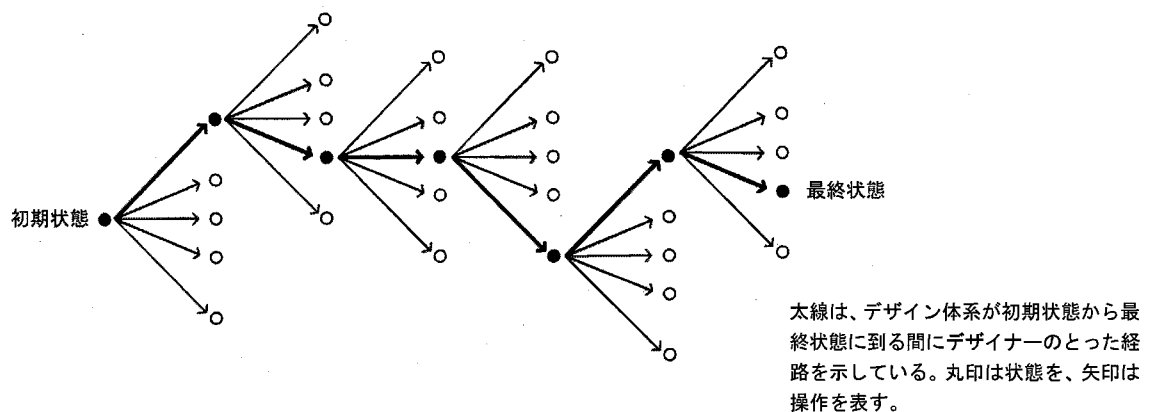
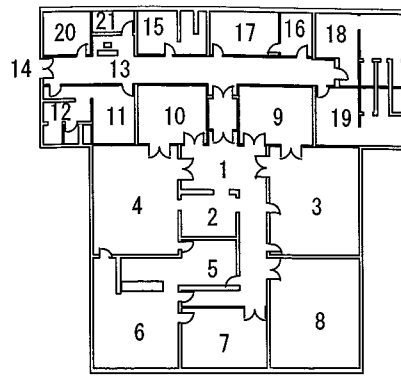


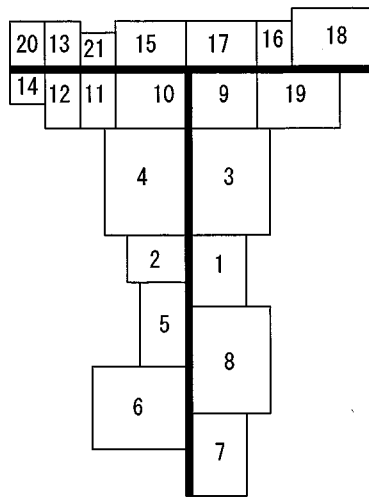
図3-3 デザイン体系に関する状態・操作の樹状図 (出典：ウィリアム・ミッチェル, 建築の形態言語, 鹿島出版会, 1991)



AOLSBによる「平面図」



廊下の形状及び各室の形状を抽出し、  
廊下形状のモデル化の後、  
廊下に面して各室を配置



AOLSBによる「モデル」

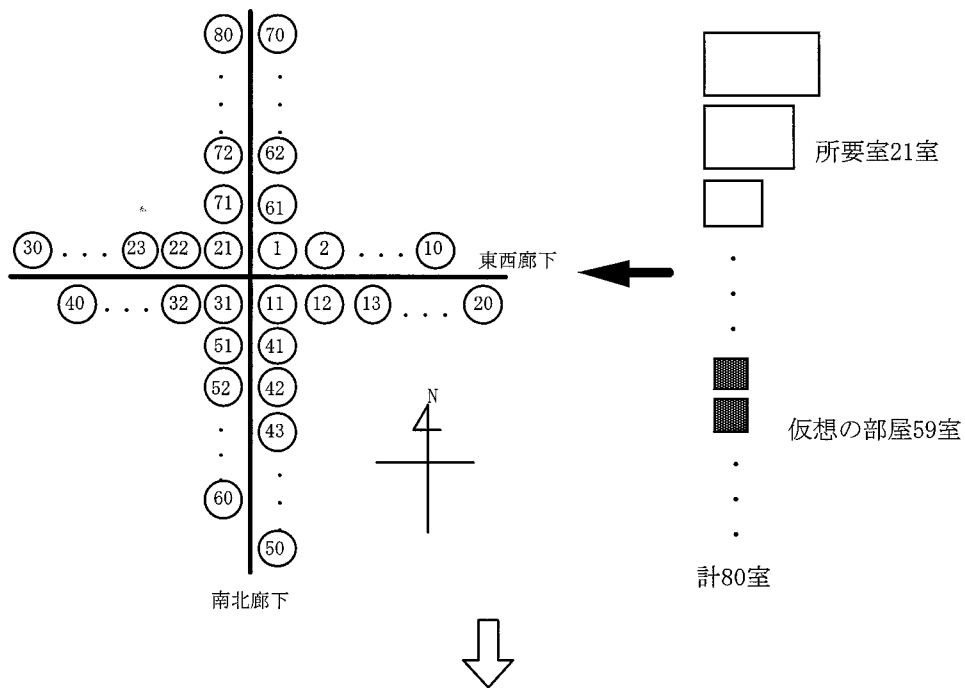
- 1 待合室・ナースステーション
- 2 医師用消毒室
- 3 第一手術室
- 4 第二手術室
- 5 暗室
- 6 無菌室
- 7 小手術室
- 8 救急手術室
- 9 第一麻酔室
- 10 第二麻酔室
- 11 外科医休憩室
- 12 外科医更衣室
- 13 ナースステーション
- 14 エントランス
- 15 男性スタッフ更衣室
- 16 消毒室
- 17 診察室
- 18 看護婦更衣・休憩室
- 19 看護婦長更衣・休憩室
- 20 病院長室
- 21 薬品倉庫

図3-4 平面図の廊下形状モデルへの変換

本章の考察では、各単位空間の面積と形状は固定して考える。設計プロセスにおいて、一度絞り込まれた解は、しばしば別の視点から再考察され、一方向的に探索範囲を収束させるばかりではなく、途中過程で何度も発散と収束を繰り返しながら最終的な解に到達する(図3-3)。このようなとき、考察を再びゼロからスタートすることは稀であり、一般的に前段階の考察による結果が何らかの形で踏襲される。本章では、第2章において登場した AOLSB<sup>参考文献3)</sup> によって導かれた平面図等を原図と想定し、配置の対象となる要求諸室をこの原図から抽出する。図3-4に部屋の寸法・形状データの抽出過程を示す。原図においてクランクや短い距離での曲がりを含む廊下形状を、移動コストに大きく影響しない範囲で可能な限りのシンプルな形状にすると、T字型の廊下形状が抽出される。このとき、各部屋は廊下の長軸方向に対して隙間なく廊下に平行に配置され、必ず廊下に面することとする。

直線	— ㄥ ㄣ ㄤ
交叉	⊥ + ⊥
曲線	∪ ∩
ループ	○ ⊕

図3-5 廊下パターン



様々な廊下形状のプランを表記できる

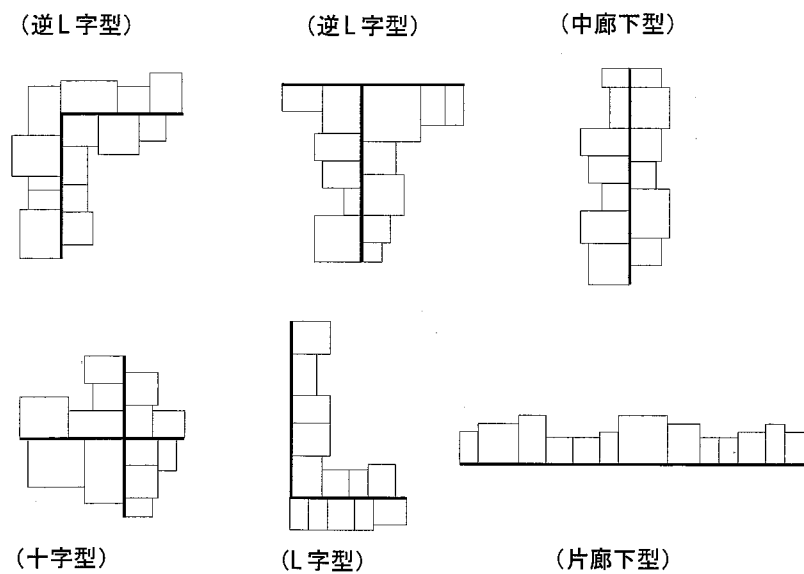


図3-6 十字型の廊下形状モデルと様々な配置プランの発生

廊下形状として図3-4に挙げる様々なパターンが考えられる。ループパターンは目的地への複数のルートを持つため、移動コストを減らす目的に関しては有効であるが、部屋を結ぶ経路が複数考えられることから、複雑なモデル化を必要とする。そのため、本章では考察の対象から除外している。また、図3-4の廊下パターンの他に、交差を複数個持つパターンも想定されるが、計画対象である病院手術棟の規模を考慮して、これに関しても考察の対象外としている。曲線パターンは、空間的なおもしろさを増すことにはつながるが、移動コストの計算のための部屋相互の位置関係という視点では、直線パターンと等価であると考えられる。以上のことを考慮したとき、その他の廊下パターンを表現することが可能なモデルとして、十字型の廊下形状モデルが考えられる(図3-6)。十字型の廊下形状モデルによって表現される廊下形状として、L字型、I字型、T字型などが挙げられるが、21の要求諸室の室配置においては、部屋の配列順序も考慮すると、十分に多様な配置プランを評価することができると言える。

移動コストの算出の基となる移動人数に関するデータは、第2章と同様にアソシエーションチャート(表2-1)を用いており、評価式は以下のようになる。

$$\sum \sum (2 \text{ つの室の標準移動人数 } J) \times (2 \text{ つの室の距離 } L)$$

### 3.3 染色体へのコード化

図3-7の室番の1～80の数字は十字型廊下に対する室の位置を表す。21の要求諸室を80ヶ所の位置に配置するにあたり、59の仮想の部屋を想定することによって、与件を80の部屋の配置問題とする。人の移動もなく、空間の存在しない仮想の部屋を設定することで、図3-6に示された多様

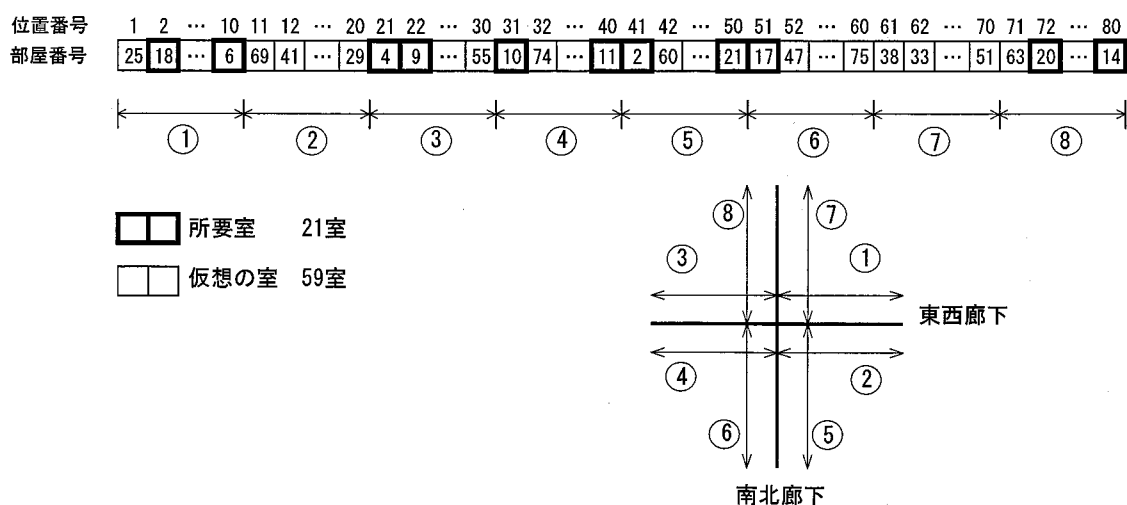


図3-7 染色体へのコード化

な廊下形状を持つ配置プランを表記することが可能である。

本章で用いる染色体は、通常のGAで用いられる「0」「1」の2進表記ではなく、連続する自然数が格納される順序表現を採用する（詳細は、第2章2.5参照）。予め、遺伝子座の位置と部屋の対応関係が決められている。

### 3.4 パラメータの設定

本章のシミュレーションの遺伝子長は80と非常に長く、この染色体で表記可能な個体は80!通りである。ここで、仮に片廊下型の1～10の配置場所に5つの要求諸室と5つの仮想の部屋を配置するGAシミュレーションを考える。この10室の配置問題では、すべての部屋が区別できる場合には10!通りの解が存在するが、そのうち5室の部屋はお互いに区別することができないものである場合には10!/5!通りとなる。5室が実体のない仮想の部屋であるという特殊な想定であるため、実際には5!通りの解しか存在せず、複数の異なる染色体が同じ配置を示すことになる。本章のシミュレーションにおいても、この10室の配置問題と同様のことが言え、遺伝子長80という値のうち、実質的な探索空間は21であるため、遺伝子長に比べ早い収束が予測される。

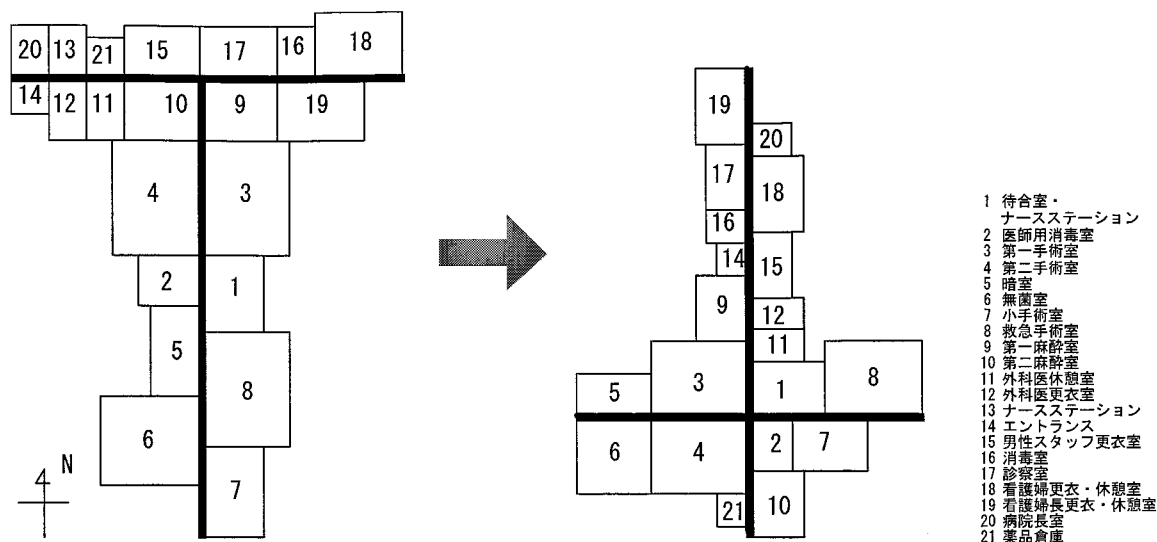
以上のことを考慮した上で、試行錯誤の結果、個体数 = 300、ジェネレーションギャップ = 0.1、交叉率 = 0.7、突然変異率 = 0.3と設定する。

### 3.5 結果

以下の章ではAOLSBによる平面図をモデル化して得られた「配置プランA」と、これとほぼ同程度の評価値を持つ平面図（第2章、図2-13中の結果1）を原図として得られた「配置プランB」の比較を通して、廊下形状モデルによる解の探索における評価値の変化、および獲得される配置プランの検証を行う。配置プランをランダムに発生させたときの評価値の平均は、約 $6.40 \times 10^4$ である。以下これを「平均値」と呼び、考察における一つの指標とする。

#### ・「配置プランA」について

モデルA、配置プランAを図3-8に示す。モデルAの評価値 $5.1705 \times 10^4$ に比べ、配置プランAは評価値 $4.3437 \times 10^4$ と優れた配置が獲得された。AOLSBのセルのモデルで表現された平面図において、移動コストを評価尺度としながらも、移動コストの算出の根拠となるスタッフの移動距離の捉え方や部分として定義する単位空間を変更することによって、優秀解と評価する廊下形状がT字



モデルA[ 評価値 :  $5.1705 \times 10^4$  ]

配置プランA[ 評価値 :  $4.3437 \times 10^4$  ]

図3-8 モデルAと配置プランA

表3-1 室間の移動コスト上位10

順位	部屋の種類		室間移動コスト
1	外科医休憩室	外科医更衣室	295.00
2	待合室ナースステーション	医師用消毒室	182.00
3	暗室	無菌室	151.00
4	外科医休憩室	ナースステーション	130.00
5	第一手術室	暗室	123.00
6	第一手術室	無菌室	123.00
7	第二手術室	暗室	123.00
8	第二手術室	無菌室	123.00
9	ナースステーション	エントランス	119.00
10	待合室ナースステーション	第一手術室	111.00
"	待合室ナースステーション	第二手術室	111.00
"	医師用消毒室	第一手術室	111.00
"	医師用消毒室	第二手術室	111.00

型から十字型へと変化した。図3-8において、とりわけ移動コストの値の大きな部屋のつながり(表3-1)を検証してみると、図3-8のモデルAでは、第一手術室、第二手術室と、それをサポートする暗室、無菌室とのつながりに問題がある。これは、図3-4のモデル化において、当初部屋同士の廊下を介さない直接的なつながりを許容することで成り立っていた配置プランに対し、全ての部屋に廊下から直接アプローチすることができるという新しい制約を付加したために、ローカルな相制関係が崩れてしまったことが原因である。配置プランAでは、廊下形状モデルを用いた相制関係の再定義によって、それらの関係が改善されていることが分かる。

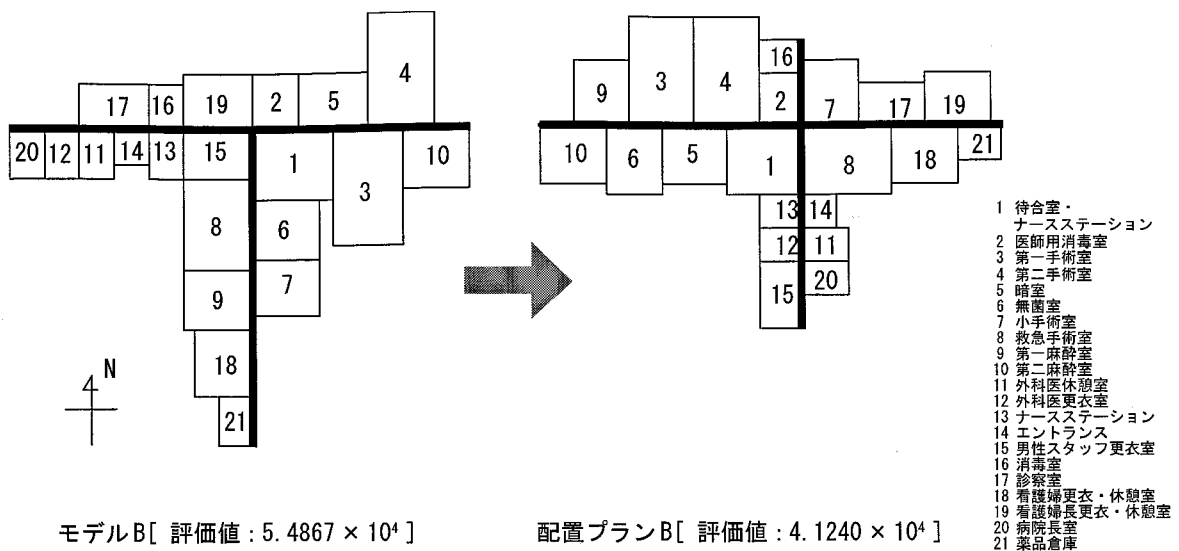


図3-9 モデルBと配置プランB

### ・「配置プランB」について

モデルB、配置プランBを図3-9に示す。モデルBの評価値  $5.4867 \times 10^4$  は「平均値」よりも優秀ではあるが、配置プランBの評価値  $4.1240 \times 10^4$  と比較したときにはその中間の成績にすぎない。先のシミュレーションと同様に、廊下パターンがT字型から十字型へと改善される結果となった。

「平均値」を0、配置プランBの評価値を100とし、仮にその90%以下の成績を持つ解を原図の候補の集合と定義したとき、モデルBに対する試行によって条件充足的に得られる他の優秀解の一例を図3-10に示す。図3-10左の優秀解の廊下パターンはT字型ではあるが、廊下の交点から東方向への廊下が他の方向への廊下に対して非常に短いため、逆L字型廊下に近い。図3-10右の優秀解も同様に、消毒室への分岐を除けば中廊下型であると考えられる。これらの優秀解は、共に先に求

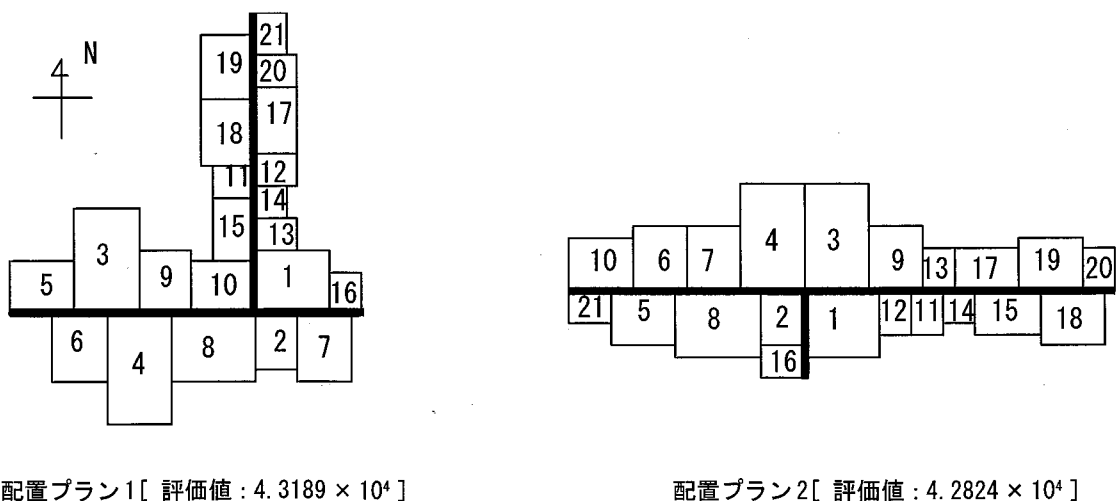


図3-10 優秀な配置プランの一例



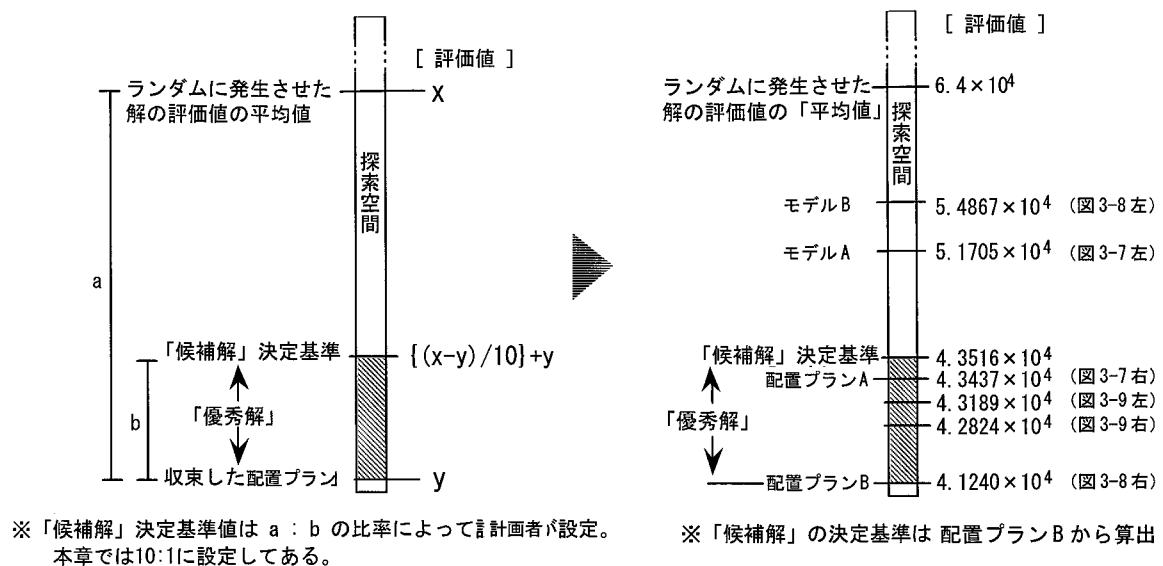


図3-11 条件充足解の選択方法と各配置プランの評価値

めた最適解Aよりも評価値が優れており、収束によって得られた配置プランと同等に優秀な配置プランであると見なすことができる。十字型の配置モデルに対してL字型や中廊下型等多様なタイプの廊下を持つ成績の優秀な配置プランが存在し、同じモデルによってそれらの改善が可能であると確認することができた。また、全ての部屋が廊下に直接面することが前提であることから、多く部屋とのつながりが重視される部屋は、建物中央付近、あるいは廊下の交差部分の付近に配置される傾向が見られる。

### 3.6 まとめ

第2章と同じ病院手術棟の室配置問題に対して、廊下形状を考慮したスタッフの移動コストと部屋の配置の関係をモデル化し、主旨の異なるインフラストラクチャ型の室配置問題として配置プランを導く計画手法を提案した。個々の部屋を単位空間とし、スタッフの移動を廊下上に限定した廊下形状モデルを用いることで、具体的な人の移動に基づく機能性を考慮した移動コストを低減させる多様なタイプの廊下形状を持つ優秀な代替案を導いた。

配置計画において、計画者が大まかな空間の関係からより現実的な利用を想定した空間の関係へと、思考の目的を次第に具体化させる計画プロセスを想定するとき、第2章と第3章のシミュレーションは一連の配置計画手法における連続する思考のステップとして位置付けることができる。そこで、前者を第一段階、後者を第二段階と呼び、このような知的システムを用いた計画手法を多段階に行うことの意義について考察する。計画者は、第一段階で導かれた優秀な候補解集合に対して、

経験や知識に照らし合わせて別の尺度に基づくイメージを膨らませ、計画者が評価・選択を行うことで次のステップの思考のための原図を得ることができる。計画者は、この原図に基づいてさらに建築の完成形に近づくために、より具体的な計画の目標や評価尺度を再設定し、第二段階のモデル化を行うことになる。現実の多くの問題を同時に付加したモデルを構築することは、一見、リアリティの高い手法のように思われるが、作業の進行とともに価値観や目標を発見しながら展開していく計画行為では、全ての問題を同時に解決することは難しく、段階的に計画の目標が決定されて

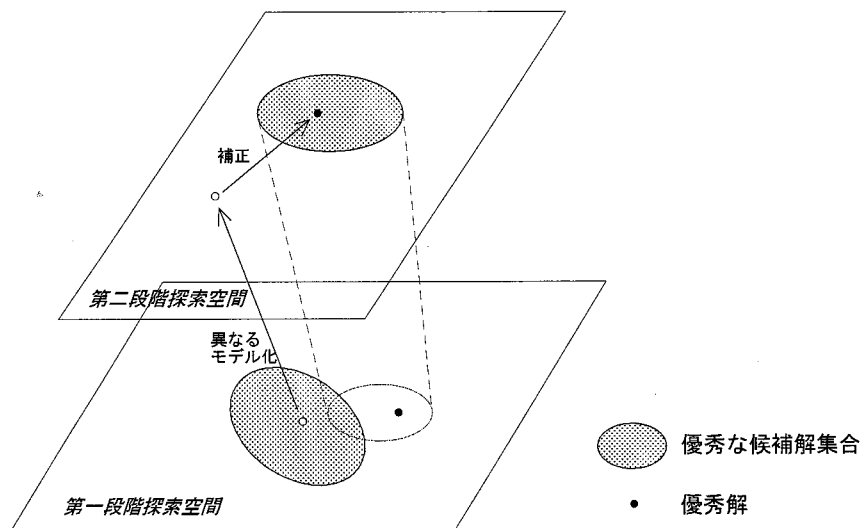


図3-12 第一段階・第二段階における探索空間と優秀解の関係

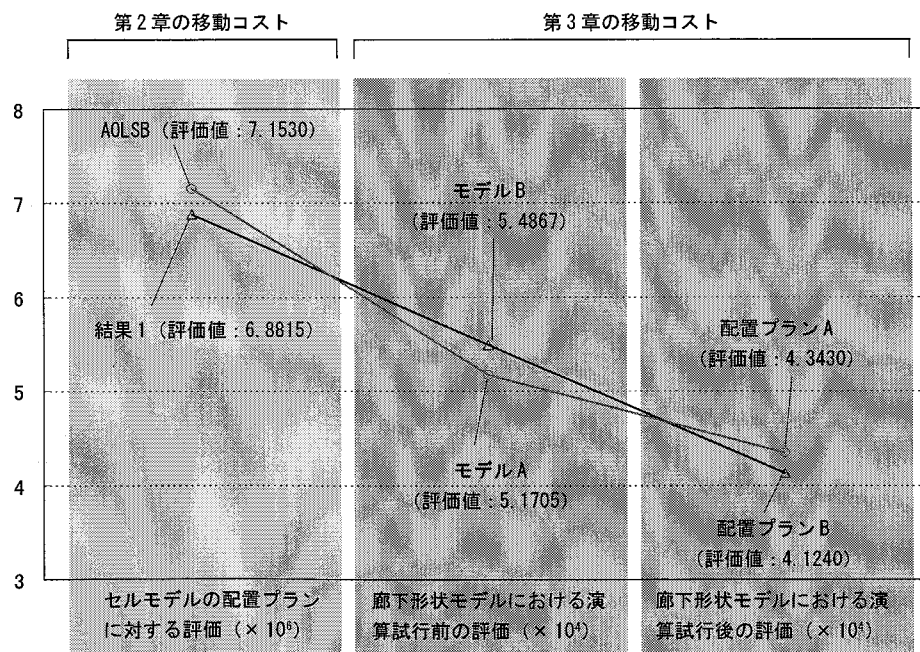


図3-13 2つのモデルにおける評価値の変遷

いくプロセスとしてモデル化することが適していると考えられる。

2つのシミュレーションを通しての配置案の評価値の変化を図3-12に示す。A0LSBと結果1の評価値の変化を追ってみると、各ステップにおいて評価の優劣の逆転が起こっている。これは、単位空間や評価尺度の最定義をはじめとするモデルの変更に起因するものであるが、このような問題の枠組みの再定義を返すことは計画行為において重要なプロセスであり、各段階の考察は決して意味のない操作ではない。このように段階的に計画者の評価を取り込む計画プロセスによってヒューリスティックな配置計画手法を構築することは、多様な解釈が可能で、計画目標が次第に精緻されていく配置問題に対する一つの有効な解法であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 青木義次:「プラン作成と遺伝進化とのアナロジーー室配置問題の遺伝進化アルゴリズムによる解法ー」, 日本建築学会計画系論文集 第481号, pp. 151-156, 1996. 3
- 2) 村岡直人他:「遺伝的アルゴリズムによる平面形状の最適化と設計ノウハウの獲得」, 日本建築学会計画系論文集 第497号, pp. 111-115, 1997. 7
- 3) 瀧澤重志他:「遺伝的アルゴリズムを用いた都市の土地利用パターンの形成」, 日本建築学会計画系論文集 第495号, pp. 281-287, 1997. 5
- 4) Peter Manning, A Lancaster Britch, J. Gribbin: An Approach to the Optimum Layout of Single-storey Buildings, The Architect's Journal Information Library 17, pp. 1373-1380, 1964. 6
- 5) 川崎清, 笹田剛史:「コンピューターによる設計のシステム開発ーPPSSの開発事例」, 建築文化, 1970. 2
- 6) 川崎清他:「施設構成理論その1〜5」, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 1969
- 7) 岡崎甚幸他:「逐次近似型室配置・通路モデルの研究」, 日本建築学会論文報告集第339号, pp90-99, 1984. 5
- 8) Young, L. F.:「Idea Processing Support: Definitions and Concepts, chapt. 8」, in Decision Support and Idea Processing Systems, Wm. C. Brown Publishers, pp. 243-268, 1988
- 9) 折原良平:「発散的思考支援ツールの研究開発動向」, 人工知能学会誌 vol. 8 No. 5, pp560-567, 1993. 9
- 10) 國藤進:「用語解説 発想支援システム」, 人工知能学会誌 vol. 12 No. 3, pp476, 1997. 5
- 11) 杉本雅則他:「設計問題への発想支援システムの応用と発想過程のモデル化の試み」, 人工知能学会誌, vol. 8 No. 5, pp575-582, 1993. 9
- 12) 「特集 発想支援システム」, 人工知能学会誌 vol. 8 No. 5, 1993. 9
- 13) R. K. Below and L. B. Booker, editors: Proceeding of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms, San Diego, California, 1991
- 14) 北野宏明編:「遺伝的アルゴリズム①, ②」, 産業図書, 1993, 1995

15) 岡田光正他：現代建築学 建築計画1, 鹿島出版会, 1987

16) ウィリアム・ミッチェル：建築の形態言語, 鹿島出版会, 1991

## 第4章 大学の組織構成要素のまとまりと要求面積 充足度に基づいた既存校舎への室再配置計画

### 4.1 はじめに

#### 4.1.1 本章の目的と方法

#### 4.1.2 既往研究

### 4.2 ニューラルネットワークを用いた室再配置モデルの設定

#### 4.2.1 ユニットとブロックの定義

#### 4.2.2 ニューラル表現

#### 4.2.3 エネルギー関数の定義

#### 4.2.4 許容値の定義

### 4.3 棟割り当て手法による室再配置画（シミュレーション1）

### 4.4 室照合手法による室再配置計画

#### 4.4.1 同分野項重視の配置プラン（シミュレーション2）

#### 4.4.2 同専攻項・同分野項重視の配置プラン （シミュレーション3）

### 4.5 まとめ

### 参考文献

## 4.1 はじめに

### 4.1.1 本章の目的と方法

本章では、京都大学の2つの組織の要求諸室（表4-1）を2棟の既存校舎（図4-1）に配置する問題を事例として取り上げ、階層的構成を成す建物と組織の一致度を表す図式に基づいて、「組織の各レベルにおけるまとまり度合」と「要求面積の充足度」を評価することで室再配置プラン（以下、配置プラン）を導く計画手法を提示する。

室配置問題においては、序章でも述べたように動線計画に基づいた計画手法が一般的であり、配置プランにおける組織のまとまりを評価する尺度としては、各部屋同士の物理的距離の総和や移動コスト等が用いられる事が多い。このような尺度は、単体の建物や小規模な建物群を評価する場合には有効であるが、大学のように組織構成が複雑で建物の規模も大きな対象では過剰に精度の高い指標となり、その値の優劣と関連付けて配置プランを評価することが困難である。そのため、対象の規模に適した組織構成要素のまとまり度合いの評価方法が必要である。

京都大学大学院情報学科自己点検・評価報告書<sup>文献2)</sup>の中で、別の組織が校舎内に混在していることは特に問題ではないが、同じ研究グループの部屋が複数の階や棟に分散してしまうことは研究活動の大きな支障であると指摘されている。このことから、組織のまとまりの評価において部屋同士の物理的な距離以上に、階層的な建物構成と同じく階層的な組織構成というハードとソフトの2つの構成（図4-2）の一致度という図式的な視点が、配置プランの評価において重視されていることが窺い知れる。

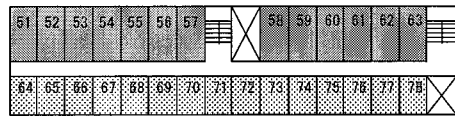
既存校舎には建物の平面形状や床面積のみならず、柱・構造壁・階段コアの配置といった変更困難な要素が数多く存在する。新築の計画手法とは異なり、既存校舎への再配置計画では全ての要求を100%満たすことは不可能で、ある条件を重視すると他の条件の満足度が低くなるトレードオフの関係になると考えられる。つまり、組織と建物のどの階層のまとまりを重視し、それぞれの階層のまとまりをどの程度満足させるべきかを定めることが計画に求められる。

本章では、この室再配置問題は、膨大なパターンが存在する組み合わせ問題の一種として捉えることができ、ニューラルネットワークによる最適化問題としてモデル化することができる。ニューラルネットワークは、ひとつひとつのニューロンの状態を変化させることで全体をコントロールするアルゴリズムであり、その挙動は会社組織におけるボトムアップ志向のメタファーで説明される<sup>文献1)</sup>。配置プランにおける室や分野という最下位の階層の要素が、他の要素との相制関係のもとに安定する場所を探索する振る舞いと、ニューラルネットワークにおけるニューロンが周辺のニュー

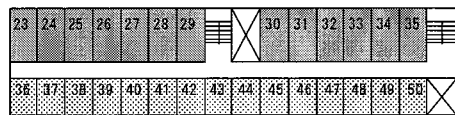
表4-1 シミュレーション対象の組織構成と要求諸室

専攻	分野	ID	要求諸室	要求面積	計
専攻1	共用	0-1	講義室	150	300
		0-2	講義室	150	
		0-3	ゼミ室	60	
		0-4	ゼミ室	60	
	分野1	1-1	教官室	25	120
		1-2	教官室	25	
		1-3	研究室	60	
		1-4	研究室	60	
	分野2	2-1	教官室	25	290
		2-2	教官室	25	
		2-3	研究室	120	
		2-4	研究室	60	
		2-5	研究室	60	
	分野3	3-1	教官室	25	320
		3-2	教官室	25	
		3-3	研究室	120	
		3-4	研究室	90	
	分野4	3-5	研究室	60	320
		4-1	教官室	25	
		4-2	教官室	25	
		4-3	研究室	80	
			4-4	研究室	60
専攻A総計					1390

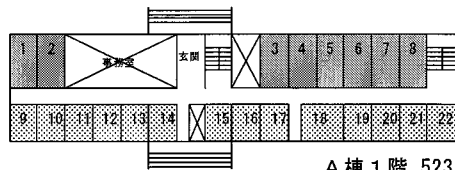
専攻	分野	ID	要求諸室	要求面積	計
専攻2	共用	11-1	講義室	150	300
		11-2	講義室	150	
		11-3	ゼミ室	60	
		11-4	ゼミ室	60	
	分野5	5-1	教官室	25	290
		5-2	教官室	25	
		5-3	研究室	120	
		5-4	研究室	120	
	分野6	6-1	教官室	25	350
		6-2	教官室	25	
		6-3	研究室	60	
		6-4	研究室	120	
		6-5	研究室	120	
	分野7	7-1	教官室	25	410
		7-2	教官室	25	
		7-3	研究室	120	
		7-4	研究室	120	
		7-5	研究室	120	
	分野8	8-1	教官室	25	370
		8-2	教官室	25	
		8-3	研究室	120	
		8-4	研究室	120	
		8-5	研究室	80	
	分野9	9-1	教官室	25	250
		9-2	教官室	25	
		9-3	研究室	120	
		9-4	研究室	80	
	分野10	10-1	教官室	25	290
		10-2	教官室	25	
		10-3	研究室	120	
		10-4	研究室	120	
専攻B総計					2380



A棟3階 677m²

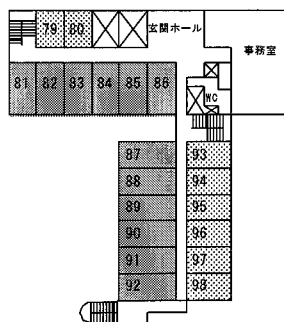


A棟2階 677m²

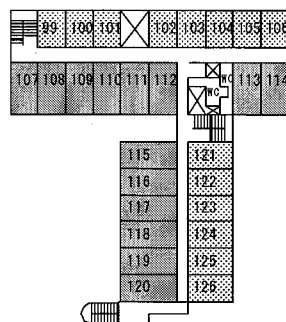


A棟1階 523m²

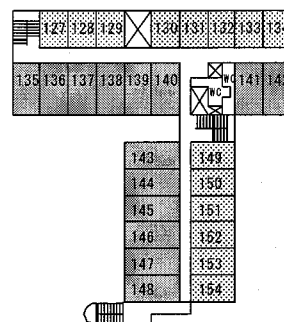
29㎡のユニット  
20㎡のユニット



B棟1階 496m²



B棟2階 686m²



B棟3階 686m²

図4-1 シミュレーション対象の校舎と部屋面積

ロンの状態と呼応して自身の状態を変化させる関係が類似しており、ニューラルネットワークの採用は効果的であると考えられる。異なる計画目標として、「組織構成の上位のまとまりを重視した場合」「下位のまとまりを重視した場合」「その中間的な場合」を想定し、それぞれに対する優秀な配置プランを導く。部屋と室は本来同義だが、本章ではハードとして「部屋」、ソフトとして「室」を使用する。

本論の室再配置問題では、図4-2に示す組織と建物の階層性の図式に着目する。この図式において、「一つの専攻が一つの棟に配置されている」あるいは「棟の各階が講座に割り当てられている」といったように、組織と建物のまとまりの区別が一致するほど優秀な配置プランと見なすことができる。この図式に基づく評価を行うために、各「部屋」および「室」がこの図式に照らし合わせてどのような関係にあるかを点数で示した「組織同士の結び付き」と「部屋同士の結び付き」の2つのマトリクスを用いる(詳細は4.2.2で説明)。

シミュレーション1では、校舎の延床面積の値のみに基づき、先に2専攻をどちらの校舎のどの階に配置するかを決めた後に、各専攻内の室再配置を個別に優秀な配置を探索する。上位要素の条件をクリアしてから段階的に下位要素の条件を調整していくことから、棟割り当て手法と定義することができる。これに対し、シミュレーション2およびシミュレーション3は、先に2専攻をど

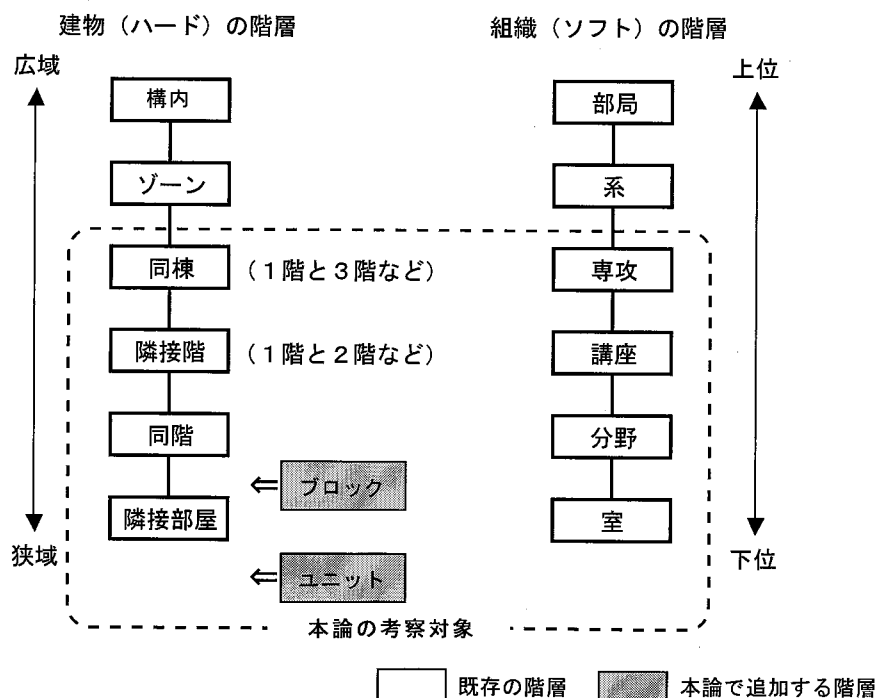


図4-2 建物（ハード）と組織（ソフト）の階層構成の図式



ちらの校舎のどの階に配置するかを決めてしまうのではなく、個々の「室」の要求面積の充足度や、組織構成の各階層のまとまり度合といった、部分の評価の総体として配置プラン全体を評価することで配置プランを導く。先の棟割り当て手法に対し室照合手法と定義する。異なる計画目標として、シミュレーション2では「分野のまとまりを非常に重視すること」を、シミュレーション3では「専攻と分野のまとまりをバランスよく満足させること」を目標とし、シミュレーション1によって導かれた配置プランと比較することで、既存校舎への室再配置計画における室照合手法の有効性を検証する。

#### 4.1.2 既往研究

既存建物への室再配置を考察の対象とした研究は少ない。高野他<sup>文献3, 4, 5)</sup>による国立大学工科系校舎の規模計画に関する一連の研究において、大学組織の最下位構成要素である「研究組織単位」での必要面積の確保やまとまりの必要性が指摘されている。千葉大学工学部を対象とした岸本他による施設再配分計画<sup>文献6)</sup>では、ニューラルネットワークを用いて属性は固定された校舎に要求諸室を配分し、各組織のトータルの配分面積によって計画を評価するモデルを提案されている。

### 4.2 ニューラルネットワークを用いた室再配置モデルの設定

#### 4.2.1 ユニットとブロックの定義

既存校舎への室再配置計画では、再配置時に建物の間仕切り壁の変更等の改修工事を伴うことが想定される。既存校舎は全ての属性を固定された箱ではなく、制約に従って部屋の大きさの変更が可能であり、ある適度の柔軟性を持った対象として捉えることが適切である。そこで、建物固有の構造スパンによって決定される空間単位を「ユニット」と定義し、すべての部屋をこのユニットの倍数として表現することで、間仕切り壁の自由な追加や削除を考察可能なモデルを設定する。階段室やトイレ等に使用されているユニットを居室として使用不可能なコアとして固定したとき、2つのコアの間に位置するユニットの集合を「ブロック」と定義する。あるブロックに属する部屋の取り得る面積はユニットの倍数となり、その最大値はブロックの面積と等しい。既存校舎では、同じ床面積の建物であっても、ユニットの大きさやコア等の位置によってブロックの数や大きさが異なるため、どの校舎を選択するかによって可能となる配置プランは全く異なったものとなる。ユニット同士の関係は、建物の階層性における互いの所属が、同ゾーン / 同棟 / 隣接階 / 同階 / 同ブロック / 同部屋となるにつれて強くなる (図 4-3)。

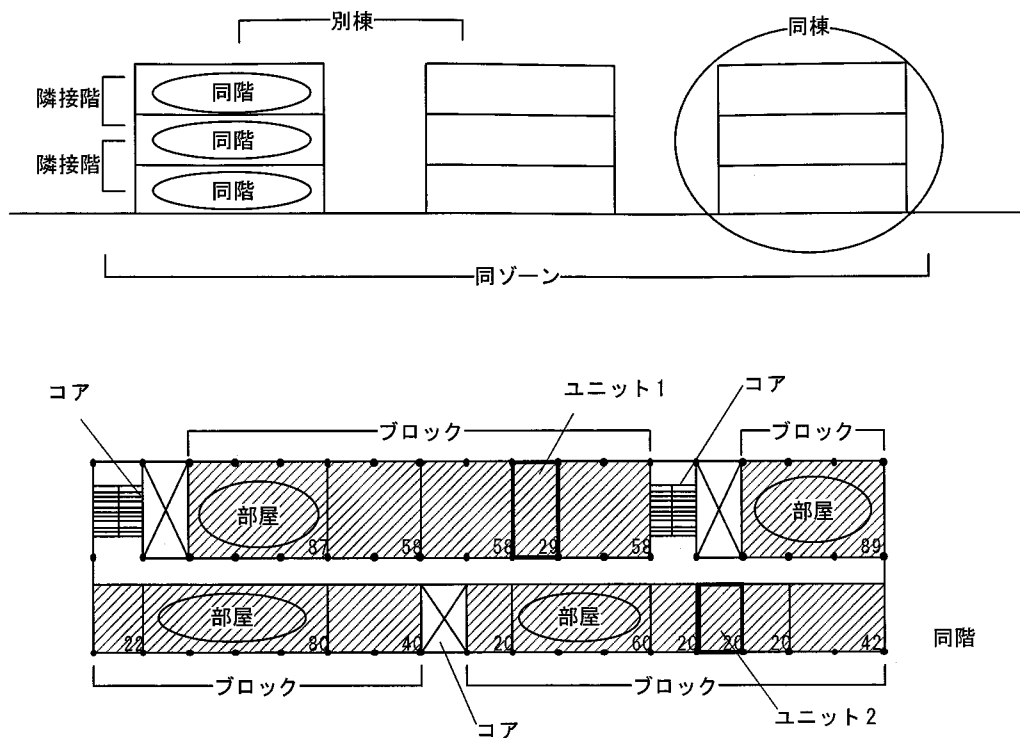


図4-3 建物のまよりの階層

#### 4.2.2 ニューラル表現

建物の構成を行項目、組織の構成を列項目とした表4-2のようなマトリクスを設定して、それぞれのセルのなかに「0」か「1」を格納したとき、そのマトリクスを配置プランと見なすことができる。「1」はその部屋にその組織が配置されていることを示しており、直感的にも配置プランとして理解しやすい。マトリクスの一つ一つのセルがニューロンであり、ニューラルネットワークの演算処理によって「0→1」「1→0」の変化を繰り返しながら優秀な配置プランへと近づいていく。

表4-3の $S(X, Y)$ 、表4-4の $H(i, j)$ はそれぞれ「組織同士の結びつき」と「部屋同士の結びつき」を示している。この2つのマトリクスを掛け合わせることで、ニューロン $V(X, i)$ と $V(Y, j)$ の相互の結合強度 $W_{sh_{XiYj}}$  (式1)を得ることができる。この結合強度 $W_{sh_{XiYj}}$ が組織のまよりを評価する尺度となる。

$$W_{sh_{XiYj}} = S(X, Y) * H(i, j) \quad \dots (1)$$

表4-2 ニューロンマトリクス

V(x, i)				棟A												棟B		
				棟A 1F				棟A 2F				棟A 3F				棟B 1F		
				A11	A12	A13	A14	A21	A22	A23	A24	A31	A32	A33	A34	B11	B12	B13
系1	専攻1	講座1	分野1	室1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				室2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				室3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		講座2	分野2	室4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
				室5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
				室6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	専攻2	講座3	分野3	室7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
				室8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
		講座3	分野4	室10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
				室11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Aij:A棟i階j号室 Bij:B棟i階j号室

表4-3 組織同士の結びつきを記述したマトリクス

S(X, Y)				系1									
				専攻1								専攻2	
				講座1						講座2		講座3	
				分野1			分野2			分野3		分野4	
				室1	室2	室3	室4	室5	室6	室7	室8	室10	室11
系1	専攻1	講座1	分野1	室1	s1	s2	s2	s3	s3	s3	s4	s5	s5
				室2	s2	s1	s2	s3	s3	s3	s4	s4	s5
				室3	s2	s2	s1	s3	s3	s3	s4	s4	s5
		講座2	分野2	室4	s3	s3	s3	s1	s2	s2	s4	s4	s5
				室5	s3	s3	s3	s2	s1	s2	s4	s4	s5
				室6	s3	s3	s3	s2	s2	s1	s4	s4	s5
	専攻2	講座3	分野3	室7	s4	s4	s4	s4	s4	s4	s1	s2	s5
				室8	s4	s4	s4	s4	s4	s4	s2	s1	s5
		講座3	分野4	室10	s5	s5	s5	s5	s5	s5	s5	s5	s1
				室11	s5	s5	s5	s5	s5	s5	s5	s5	s1

s1:同室 s2:同分野・別室 s3:同講座・異分野 s4:同専攻・異講座 s5:同系・異専攻

表4-4 部屋同士の結びつきを記述したマトリクス

H(i, j)			棟A																棟B		
			棟A 1F								棟A 2F				棟A 3F				棟B 1F		
			A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	...	A21	A22	A23	...	A31	A32	A33	...	B11	B12	B13
棟A	1F	A11	h0	h1	h1	h1	h2	h2	h2	h2	h3	h3	h3	h3	h4	h4	h4	h4	h5	h5	h5
		A12	h1	h0	h1	h1	h2	h2	h2	h2	h3	h3	h3	h3	h4	h4	h4	h4	h5	h5	h5
		A13	h1	h1	h0	h1	h2	h2	h2	h2	h3	h3	h3	h3	h4	h4	h4	h4	h5	h5	h5
		A14	h1	h1	h1	h0	h2	h2	h2	h2	h3	h3	h3	h3	h4	h4	h4	h4	h5	h5	h5
		A15	h2	h2	h2	h2	h0	h1	h1	h2	h3	h3	h3	h3	h4	h4	h4	h4	h5	h5	h5
		A16	h2	h2	h2	h2	h1	h0	h1	h2	h3	h3	h3	h3	h4	h4	h4	h4	h5	h5	h5
		A17	h2	h2	h2	h2	h1	h1	h0	h2	h3	h3	h3	h3	h4	h4	h4	h4	h5	h5	h5
	2F	...	h2	h2	h2	h2	h2	h2	h2	h0	h3	h3	h3	h3	h4	h4	h4	h4	h5	h5	h5
		A21	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h0	h1	h1	h2	h3	h3	h3	h3	h5	h5	h5
		A22	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h1	h0	h1	h2	h3	h3	h3	h3	h5	h5	h5
		A23	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h1	h1	h0	h2	h3	h3	h3	h3	h5	h5	h5
	3F	...	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h3	h2	h2	h2	h0	h3	h3	h3	h3	h5	h5	h5
A31		h4	h4	h4	h4	h4	h4	h4	h4	h3	h3	h3	h3	h0	h1	h2	h2	h5	h5	h5	
A32		h4	h4	h4	h4	h4	h4	h4	h4	h3	h3	h3	h3	h1	h0	h2	h2	h5	h5	h5	
A33		h4	h4	h4	h4	h4	h4	h4	h4	h3	h3	h3	h3	h2	h2	h0	h1	h5	h5	h5	
棟B	1F	...	h4	h4	h4	h4	h4	h4	h4	h4	h3	h3	h3	h3	h2	h2	h1	h0	h5	h5	h5
		B11	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h0	h1	h1
		B12	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h1	h0	h1
		B13	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h5	h1	h0	h1

h0:自身 h1:同ブロック h2:同階 h3:隣接階 h4:別階(同棟) h5:別棟

Aij:A棟i階j号室 Bij:B棟i階j号室

#### 4.2.3 エネルギー関数の定義

室再配置計画の前提条件として以下の項目を設定する。

- ①階段室、EV、トイレ、廊下、出入り口、事務室の位置は変更しない。
- ②要求される各部屋は、必ず連続した1室として確保する。
- ③用意されたユニットに空室を生じさせない。
- ④間仕切りの変更や引越しに伴うコストは、配置プランを決定する上で重要な要因であるが、ここでは考察の対象としない。

部分と全体の相制関係の評価式はエネルギー関数として表現され、計画意図に応じて係数が設定される。この値を最小とするニューロンの組み合わせ（マトリクス）が優秀な配置プランとなる。エネルギー関数は様々な条件を表す項による多項式となるが、各条件項目同士の関連性はわかっていない。そこで、項目同士が影響し合わない最もシンプルな一次線形式とすることで、それぞれの項目に対して個別に操作を行なえるようにしている。単位や値の桁数が異なる項目によって一次線形式を構成しているため、各項目の重みが適切になるように係数によって相互の調整を行っており、この係数の組み合わせが計画目標を表すパラメータとなる。本章で用いるエネルギー関数の各項目は、以下の  $E_1$  から  $E_5$  である。

$$E = \sum_i K_i \cdot E_i \quad \dots (2)$$

$i=1, 2, 3 \dots \dots K_i$  は係数

<  $E_1$  : 各「部屋」は1つの「室」としてのみ利用する >

各部屋における割り当ての重複や空室を避けるためには、各列で一箇所だけニューロンが発火すればよい。

$$E_1 = \sum_i \left( \sum_x V_{xi} - 1 \right)^2$$

<  $E_2$  : 各「部屋」の面積を要求面積に近づける >

要求面積の増減は、要求面積に対する割合で評価する。

$$E_2 = \sum_x \left\{ 100 \left( \frac{\sum_i M(i) V_{xi} - Mh(X)}{Mh(X)} \right) \right\}^2$$

「室」  $X$  の要求面積 :  $Mh(x)$ 、「部屋」  $i$  の面積 :  $M(i)$

$\sum M(i)V_{xi}$  は「部屋」Xに割当てられた面積、 $Mh(X)$  は「室」Xの要求面積を示しており、この差をできるだけ小さくする（0に近づける）とエネルギーは最小となる。大きな部屋では多くの面積の、小さな部屋では少ない面積の過不足が生じることが適当であり、上記式のように面積の増減を要求面積に対する百分率で評価する。

### < $E_3$ : 1「室」を必ず連続した「部屋」とする >

発火した2つのニューロン  $V(X, i)$  と  $V(Y, j)$  が同じ「部屋」を構成するユニットであるとき、この2つのニューロンは必ず同じブロック内に存在する。これは式(1)の  $W_{sh_{xiXj}}$  が  $s1*h1$  と等しくなることとして表現できる。さらに、この2つのニューロン間の全てのニューロンが発火し、 $V(X, i)$  から  $V(Y, j)$  まで発火したニューロンが連続することが必要である。

$$E_3 = \sum_{Xij} W_{xiXj} V_{xi} V_{xj}$$

$$W_{xiXj} = \begin{cases} w_{sl} \neq s1*h1 \text{ のとき} \\ T \quad (T \text{ は正の定数}) \\ w_{sh_{xiXj}} = s1*h1 \text{ かつ } (j-i)^2 > 1 \text{ のとき} \\ \sum_X \sum_{ij} \sum_{k=\min(i,j)+1}^{\max(i,j)-1} (1-V_{xk}) \\ w_{sh_{xiXj}} = s1*h1 \text{ かつ } (j-i)^2 \leq 1 \text{ のとき} \\ 0 \end{cases}$$

### < $E_4$ : 分野のまとまりを確保する >

分野のまとまりは、 $E_3$  の場合と同様に、式(1)の  $W_{sh_{xiYj}}$  を用いて表現することができる。 $E_3$  では1室の行に対してのみ評価を行っているが、同分野項では全ての行に対して総和を評価する必要がある。ある2つの発火したニューロンが同分野かつ同ブロックに属するとき、エネルギーは“0”の値を取り、同ブロック、同階、隣接階・・・と分散するほど、高いペナルティの値をとる。これをすべてのニューロンの組合せに対して計算し、その総和の値が小さいほど、分野のまとまりがよいことを意味する。

$$E_4 = \sum_{XiYj} W_{XiYj} V_{Xi} V_{Yj}$$

$$W_{XiYj} = \begin{cases} D1 \text{ ( } w\_sh_{XiYj} = s2 * h2 \text{ のとき)} & \text{同分野同階} \\ D2 \text{ ( } w\_sh_{XiYj} = s2 * h3 \text{ のとき)} & \text{同分野隣接階} \\ D3 \text{ ( } w\_sh_{XiYj} = s2 * h4 \text{ のとき)} & \text{同分野同棟} \\ D4 \text{ ( } w\_sh_{XiYj} = s2 * h5 \text{ のとき)} & \text{同分野別棟} \\ 0 \text{ (上記以外 のとき)} & \end{cases}$$

ただし,  $D1 < D2 < D3 < D4$  とする

#### < $E_5$ : 講座のまとまりを確保する >

講座のレベルのまとまり条件も、分野の場合と同様に表現することができる。講座は一つのブロックに収まらない規模の組織であるため、同階に配置されていることが最も優秀なまとまりとなる。発火している2つのニューロンが同じ分野に属し、かつ同じフロアにあるときにエネルギー関数は”0”となり、隣接階、同棟・・・と分散すればするほどペナルティが加算される。 $s(x, y)$ が  $s3$  以外であるとき、つまり同講座以外である場合は、考慮の対象とはならないので”0”を返す。

$$E_5 = \sum_{XiYj} W_{XiYj} V_{Xi} V_{Yj}$$

$$W_{XiYj} = \begin{cases} F1 \text{ ( } w\_sh_{XiYj} = s3 * h3 \text{ のとき)} & \text{同講座隣接階} \\ F2 \text{ ( } w\_sh_{XiYj} = s3 * h4 \text{ のとき)} & \text{同講座同棟} \\ F3 \text{ ( } w\_sh_{XiYj} = s3 * h5 \text{ のとき)} & \text{同講座別棟} \\ 0 \text{ (上記以外 のとき)} & \end{cases}$$

$F1 < F2 < F3$  とする

#### 4.2.4 許容値の定義

事例として取り上げる京都大学のA棟とB棟は、ともに  $20 \text{ m}^2$ 、 $29 \text{ m}^2$  のユニットを持つ。要求諸室に対してユニットの倍数の部屋が割り当てられるため、要求面積を100%満たすことはできない。このように、要求面積と割り当て面積の差を0にすることが無理であることが前提となるモデルにおいて、面積充足度の値を単純に比較することで、その配置プランがどれだけ優れているのかを感覚的に理解することが難しい。既存校舎の有効な転用の可能性を積極的に評価するために、「許容

値」という概念を導入する。

各要求面積に対して、ユニットの倍数として取りえる値のうち、近似する上位2パターンの面積を「許容値」と定義する。例えば、25 m<sup>2</sup>の許容値は20 m<sup>2</sup>(80%)と29 m<sup>2</sup>(116%)で、60 m<sup>2</sup>の許容値は29 m<sup>2</sup>のユニットを2つ合わせた58 m<sup>2</sup>(96.67%)と、30 m<sup>2</sup>のユニットを2つ合わせた60 m<sup>2</sup>(100%)となる(図4-4)。

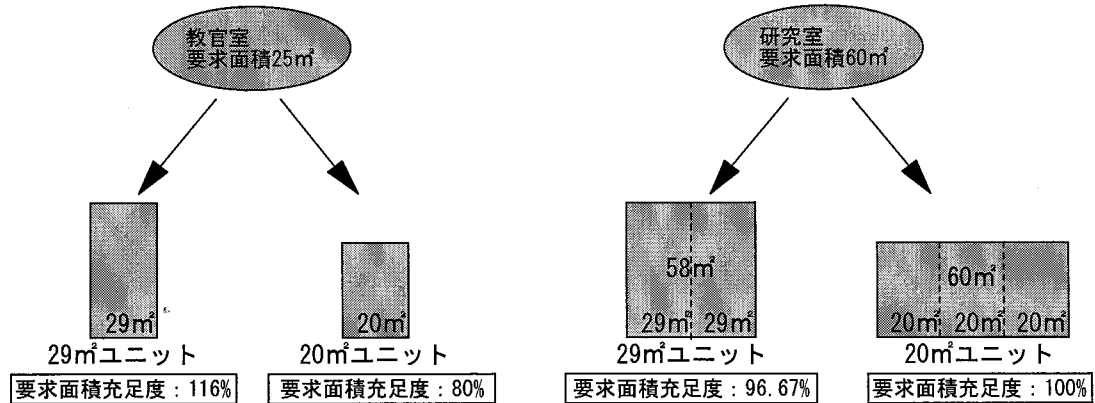


図4-4 許容値の定義

#### 4.3 棟割り当て手法による室再配置計画（シミュレーション1）

棟割り当て手法では、各専攻の要求諸室およびその面積が表4-1のように与えられたとき、まず各専攻の要求面積の総和および専攻1と専攻2のまとまりのみに基づいて専攻レベルのゾーニングを行う。専攻1をA棟の2階と3階に、専攻2をA棟の1階とB棟に配置する場合、専攻1の要求面積に対する面積充足度は97.41%、専攻2で100.46%となり、この段階では非常に優秀なゾーニングであると評価できる。

上記のような専攻レベルのゾーニングを前提として、次に各専攻の要求諸室を決められたゾーンの中に個別に納めていく。棟割り当て手法では、常に上位組織のまとまりを確保した後に下位組織の配置が検討されることから、同分野項のK<sub>4</sub>に高い値を設定している。

導かれた専攻1、専攻2の配置プランは図4-5となり、このときの専攻1、専攻2のエネルギーの値を図4-6に示す。表4-1の要求面積に対する各専攻の割り当て面積の過不足度を図4-7、図4-8に示す。

割り当て面積の過不足度の図では、縦軸に面積過不足度の百分率を、横軸に要求諸室のID番号をとっている。グラフが薄く着色されている部屋は、4-2-4で設定した許容値よりも面積が大きな部屋が割り当てられていることを示し、濃く着色された部屋は許容値よりも小さな部屋が割り当て

られていることを示す。この図では、各要求諸室の面積充足度の値と同時に、配置プラン全体として許容値とならない部屋数を確認することができる。許容値となる部屋が多いほど、無理な割り当ての少ない収まりのよい配置プランであると評価できる。

専攻1は、室3-4で+11%の面積過剰がみられる他は、すべてが許容値となっている。面積の条件を高度に満たし、分野のまとまりに関しても極めて優秀な配置プランである。

専攻2は、6室で割り当て面積の過少が生じている。特に室5-4、9-4、10-3の3室は要求面積の75%にも満たないため、面積配分に問題が多い。

上記の結果の原因として、校舎に制約条件が多いにも関わらず、分野のまとまりを過剰に重視していることが考えられる。そこで専攻2に対して分野項のパラメータを弱めに調整した配置プラン

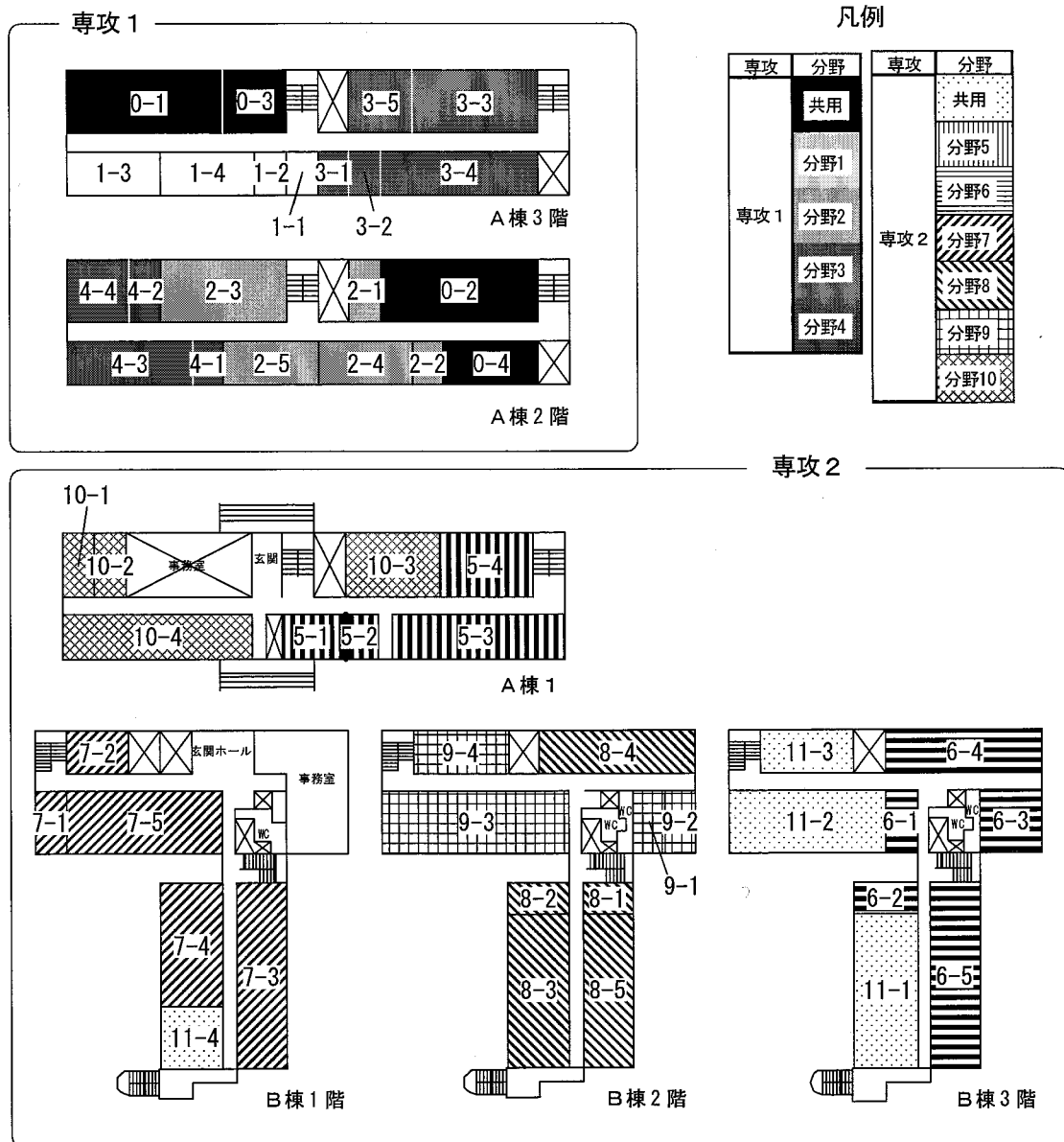


図4-5 シミュレーション1による配置プラン



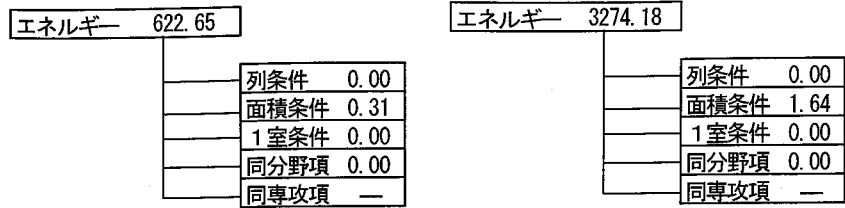


図 4-6 シミュレーション1による配置の専攻1(左)、専攻2(右)のエネルギー

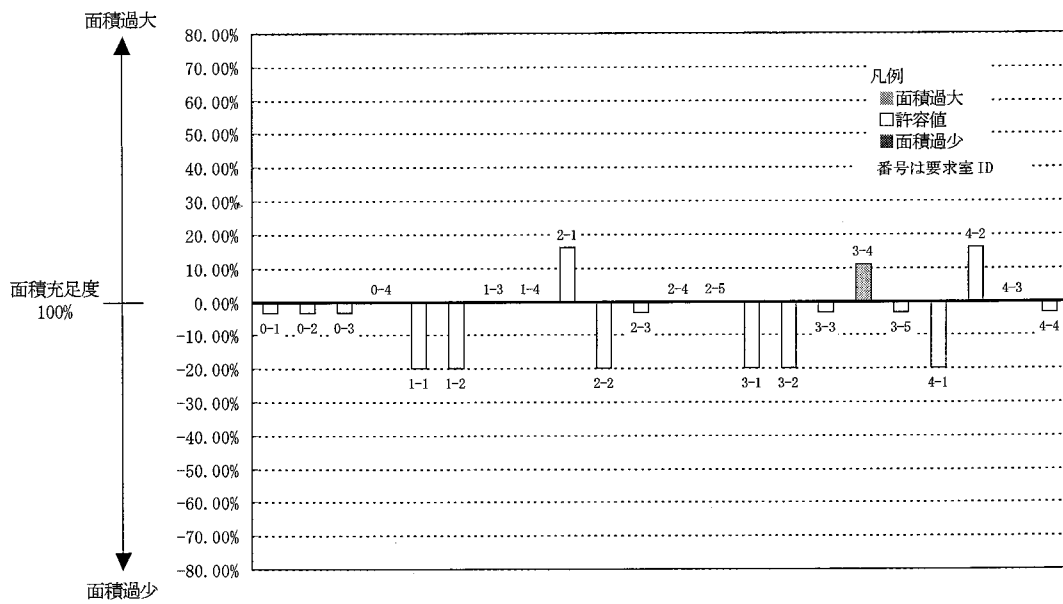


図 4-7 シミュレーション1による専攻1の割り当て面積の過不足度

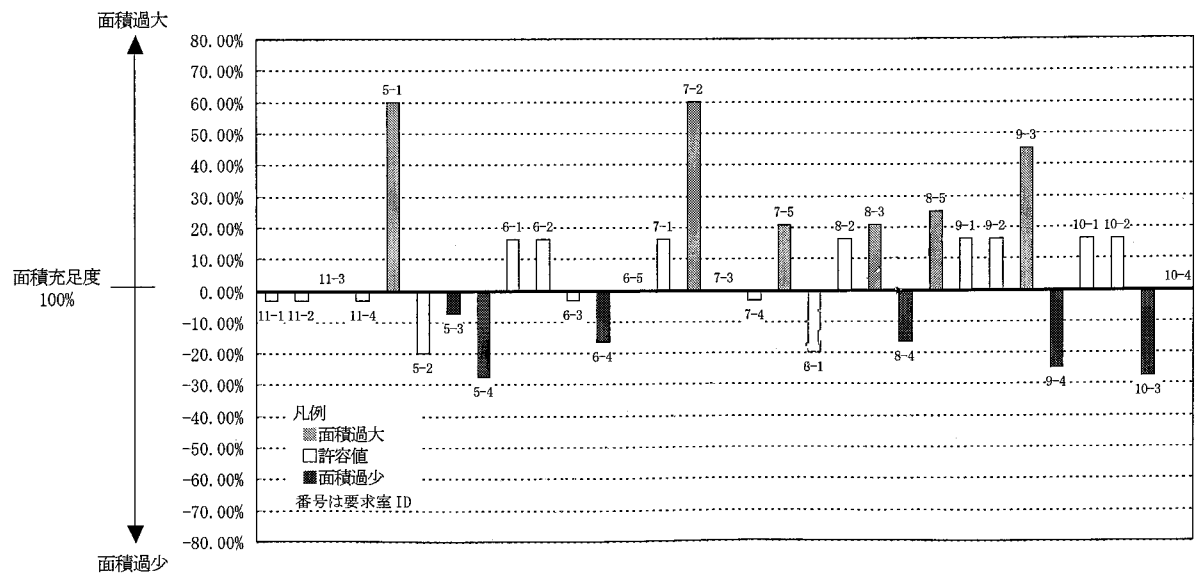


図 4-8 シミュレーション1による専攻2の割り当て面積の過不足度

を求めてみる。このときの平面図を図4-9に、専攻2の要求面積に対する割り当て面積の過不足度を図4-10に示す。複数のブロックに分散した分野は存在せず、分野のまとまりに関しては先の試行と同等に優秀な配置プランである上に、専攻2の面積条件項のエネルギーは1.64から0.67へと改善されている。室数は減少しているが依然として面積の過不足度の大きな部屋が多く存在しており、全ての条件項目を適切に調整することは難しいことから、棟割り当て手法は既存校舎への室再配置計画にとって有効であるとは言い難い。

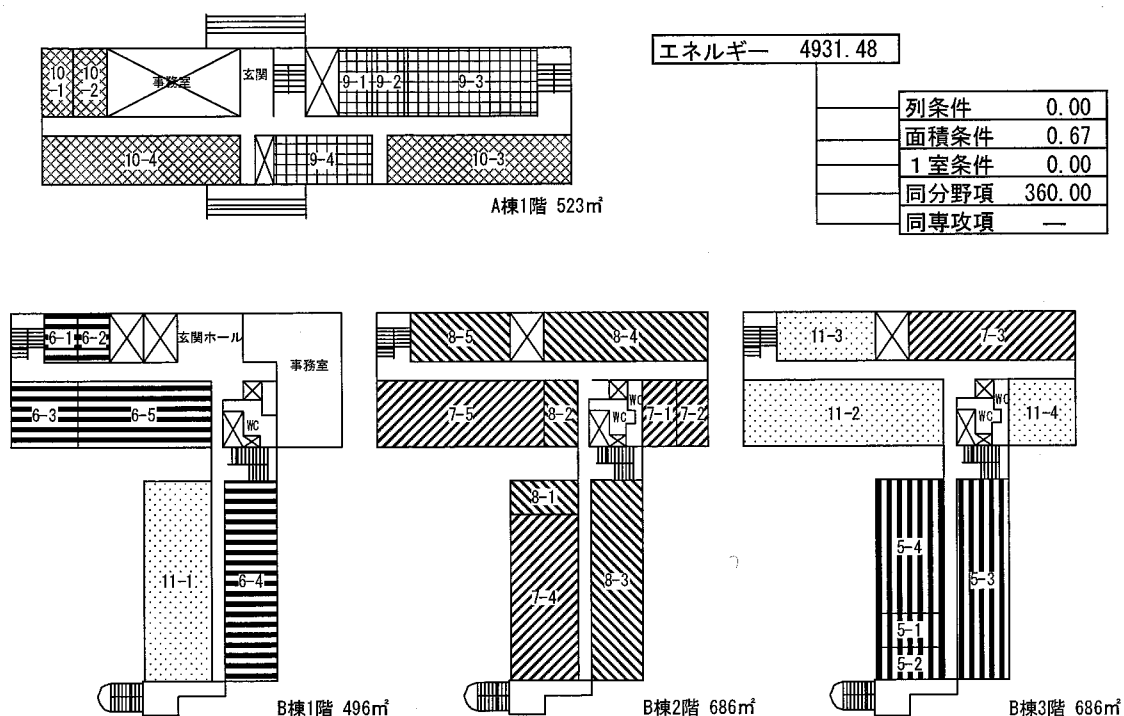


図4-9 シミュレーション1による専攻2の配置プランとエネルギー（その2）

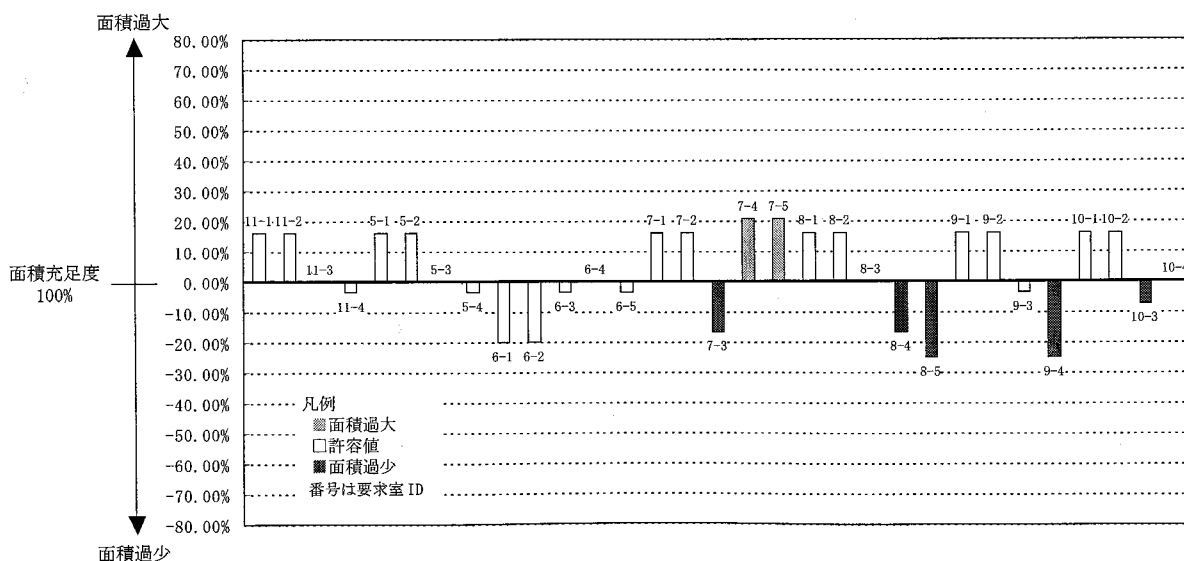


図4-10 シミュレーション1による専攻2の割り当て面積の過不足度（その2）

#### 4.4 室照合手法による室再配置計画

##### 4.4.1 同分野項重視の配置プラン(シミュレーション2)

シミュレーション1では、先に上位組織の条件から段階的に探索範囲を絞り込むことによって配置プランを導いた。これに対して室照合手法は全ての要求諸室のエネルギーを算出し、その合計値によって配置プランにおける組織のまとまりの評価を行う。「棟割り当て」という初期段階における意図的な解の絞込みを排除することで、探索範囲の広い試行が可能となる。

分野のまとまりと要求面積充足度を共に満足させることを計画者目標として設定したとき、導かれた配置プランを図4-11に示す。

専攻1、専攻2共にA棟・B棟に点在しており、シミュレーション1のように系レベルでのゾーニングはなされていない。しかし「分野」のレベルに視点を移すと、すべての分野は同階にまとまって配置されている。パラメータとして与えられた分野のまとまりを重視する計画目標通りに、分野レベルのまとまりに関しては優秀な配置プランとなっている。

要求面積に対する割り当て面積の過不足度を図4-12に示す。面積充足度は、室5-4、室6-5の2室を除くと、すべて許容値となる。許容値とならない室5-4、室6-5に関しても、その面積充足度は83.3%、92.5%となり、他の部屋の許容値と同等レベルの面積充足度となっている。専攻レベルでの分散を許容することで、分野レベルのまとまりと同時に各室の要求面積の充足度も高い水準で満した配置プランを導くことができたと言える。

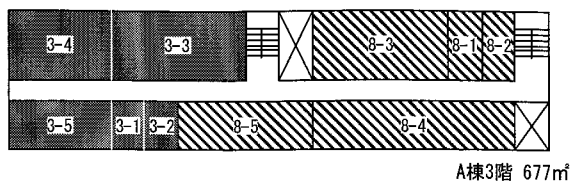
##### 4.4.2 同専攻項・同分野項重視の配置プラン(シミュレーション3)

シミュレーション2とは異なる計画目標として、シミュレーション1と同じく専攻レベルのまとまりと分野レベルのまとまりを共に重視したときの配置プランを図4-13に示す。

専攻レベルのまとまりに関しては、専攻1はB棟の2階3階に、専攻2はA棟とB棟の1階に配置されており非常に明快である。分野レベルのまとまりに関しても、すべての分野が同階に配置されており、問題となるような分野の分散は見られない。

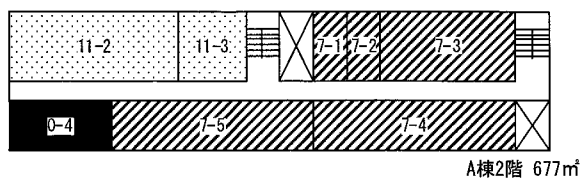
要求面積に対する割り当て面積の過不足を図4-14に示す。5室が許容値とならず、面積充足度に関しても、20%を超える過不足の部屋も存在する。シミュレーション2の配置プランと比較したとき、シミュレーション3の配置プランでは専攻レベルと分野レベルの双方のまとまりを確保するために、個々の部屋の面積充足度に関する満足度が低くなっている。

シミュレーション3の配置プランは、シミュレーション1において最初に各専攻の要求面積の総



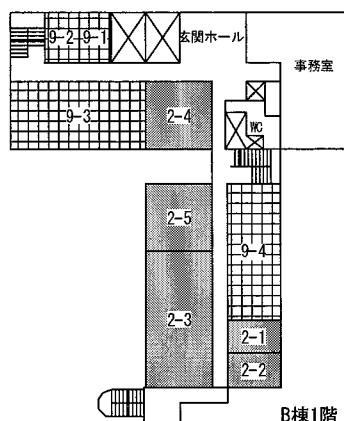
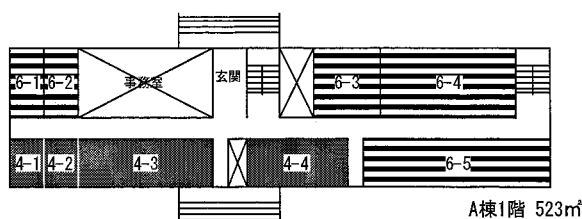
エネルギー 1563.52

列条件	0.00
面積条件	0.78
1室条件	0.00
同分野項	0.00
同専攻項	20056.00

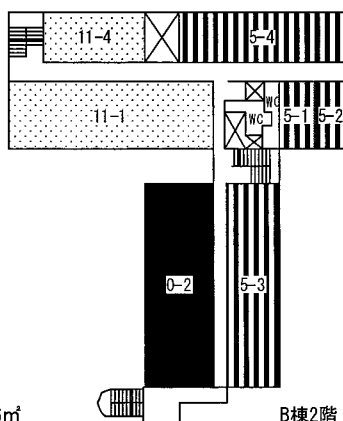


凡例

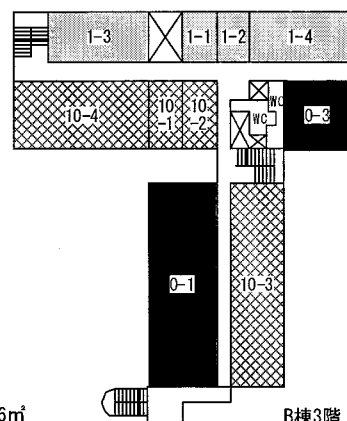
専攻	分野
専攻 1	共用
	分野1
	分野2
	分野3
	分野4
専攻 2	共用
	分野5
	分野6
	分野7
	分野8
	分野9
	分野10



B棟1階 496㎡



B棟2階 686㎡



B棟3階 686㎡

図4-11 シミュレーション2による配置プランとエネルギー

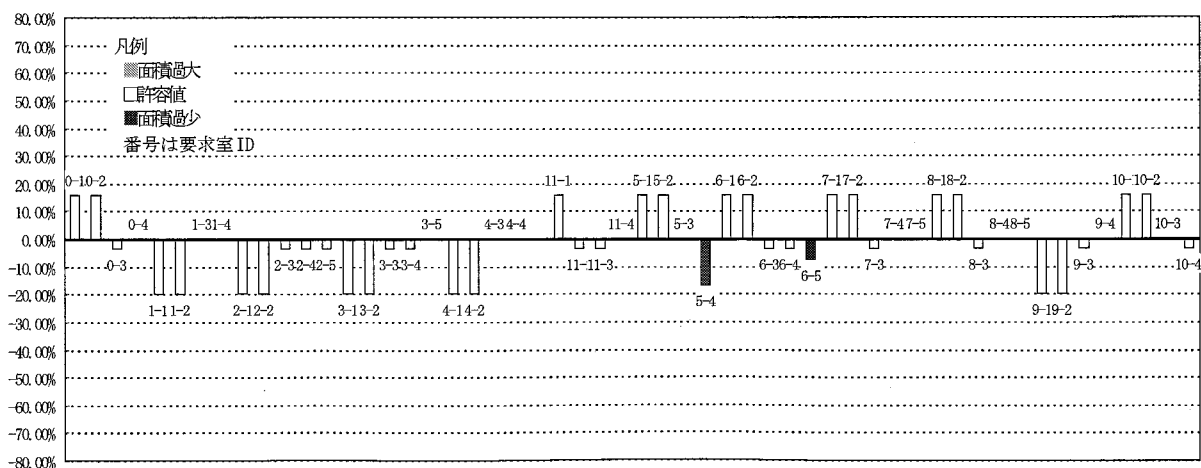


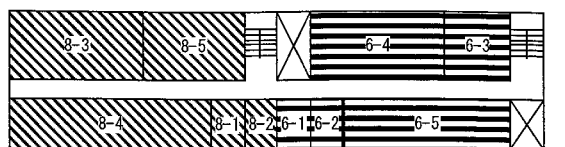
図4-12 シミュレーション2による割り当て面積の過不足度

和から決定した校舎の配分と対称的に、専攻1をB棟に、専攻2をA棟に配置する結果となっている。2つの配置プランの面積条件のエネルギー値を比較してみる。シミュレーション1の専攻1と専攻2の先の試行の面積条件のエネルギー値の和は1.95（図4-6）で、専攻2の後の試行との和は0.98（図4-6, 4-9）である。これに対し、シミュレーション3の全体の面積条件のエネルギー値は0.87（図4-13）で、シミュレーション1のどちらの配置プランに対しても面積条件に関して優れている。また図4-7, 4-10と図4-14を比較してみると、許容値以外をとる部屋数も前者の7室に対し5室であることから、収まりに関してもより優れていると評価できる。上記のことから、トップダウン的アプローチによる棟割り当て手法において初期段階で排除してしまった解集合の中から、ボトムアップ的アプローチによる室照合手法によって同等に組織のまとまりを満たし、さらに面積充足度と要求諸室の収まりの両方に関してもより優秀な配置プランを見つけ出すことができたと言える。

#### 4.5 まとめ

配置プランにおける大学組織のまとまりの評価に対して、建物と組織の階層性の関係を示す図式に基づいた評価方法を提案し、部分と全体の相制関係のモデルを用いて、従来の建築計画ではあまり研究の対象とされてこなかった既存校舎への室再配置問題を解く手法を提示した。建物の抽象的な図式は計画者の目的が象徴的に表されており、大規模で複雑なプログラムの建物における空間の関係を大まかに把握する上で重要であり、このような図式を介して配置プランを間接的に定義・評価することの有用性を示した。また、上位組織の要求を満たした後、段階的に下位組織の要求を検討するトップダウン的な棟割り当て手法に対し、室レベルのローカルな要求の充足度を重視し、それらの相制関係が満たすべき個別の計画目標をエネルギー関数のパラメータを調整することで、多様な価値観に対して各組織レベルのまとまりのバランスを調整しながら配置プランを獲得する室照合手法の有効性を実証した。

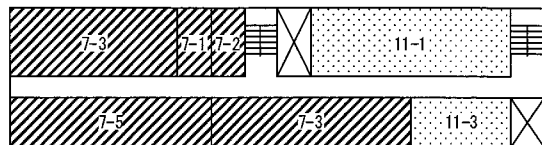
既存建物の室再配置計画手法として、組織と建物の階層構成に基づいて単位空間の相制関係が満たすべき制約条件を決定することで、建物の転用可能性の様々な案を求める方法を示したことは、大学施設群および社会的寿命を迎えた大規模施設の再利用などのマネジメントにとって大きな成果である。本章で扱ったのは2棟の校舎に2つの組織を再配置する問題で、要求諸室の総面積と校舎の延床面積がほぼ等しく、再配置の際に空室が発生しないといった限定された条件下における試行であった。しかし、「ニューラルネットワークの最適化アルゴリズム」、「建物と組織の階層性に



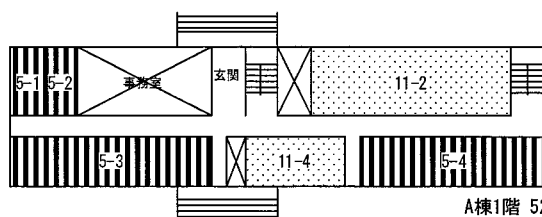
A棟3階 677m²

エネルギー 54692.44

列条件	0.00
面積条件	0.87
1室条件	0.00
同分野項	0.00
同専攻項	10592.00

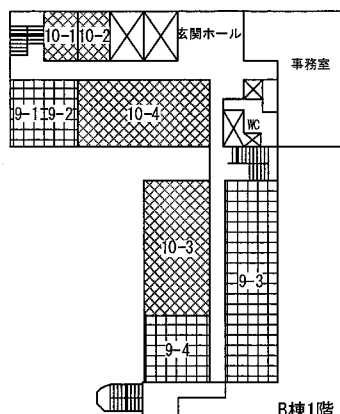
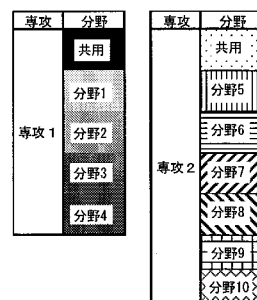


A棟2階 677m²

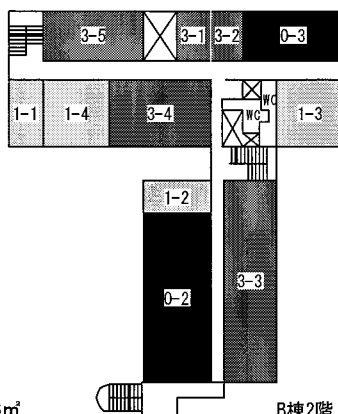


A棟1階 523m²

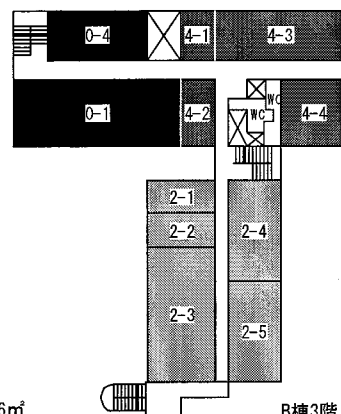
### 凡例



B棟1階 496m²



B棟2階 686m²



B棟3階 686m²

図4-13 シミュレーション3による配置プランとエネルギー

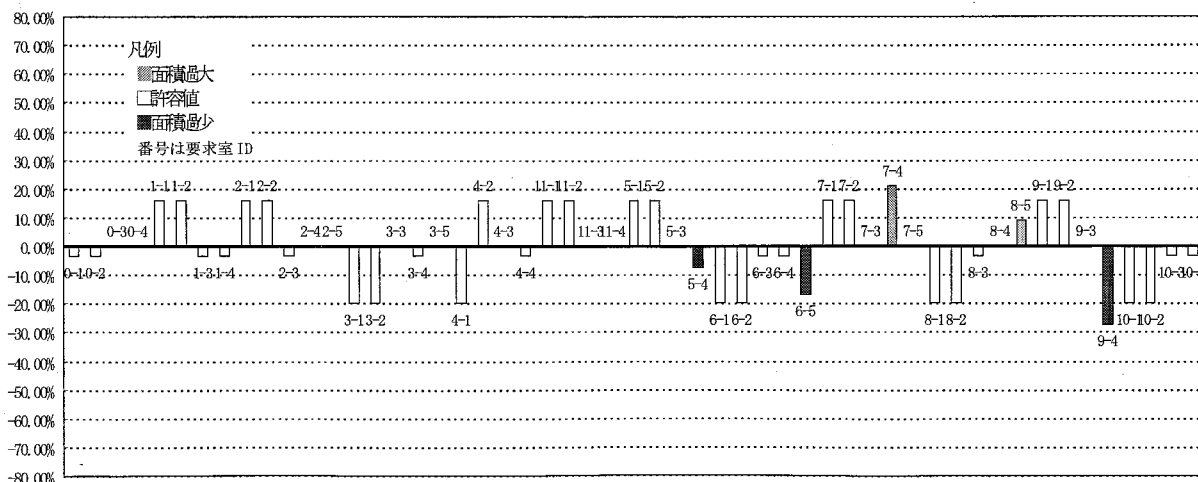


図4-14 シミュレーション3による割り当て面積の過不足度

着目し最下位の単位空間に基づいた配置モデル」、「部分の相制関係の規定とその重み付けの設定」に基づいた配置計画手法の発展の可能性を十分に示すことができた。

## 参考文献

- 1) 上坂吉則：ニューロコンピューティングの数学的基礎，近代科学社，1993
- 2) 京都大学大学院情報学研究科：京都大学大学院情報学研究科 自己点検・評価報告書，2001
- 3) 高野文雄：国立大学工科系学部校舎の規模計画に関する研究，1998
- 4) 高野文雄，谷口汎邦，山口勝巳，石田有作：国立大学工科系学部における研究組織単位の人的構成と使用室面積の特性—国立大学工科系学部の施設計画に関する研究その1，日本建築学会計画系論文集第485号，pp107 - 116, 1996
- 5) 高野文雄，谷口汎邦，山口勝巳：国立大学工科系学部における研究組織単位使用室の用途別に見た面積特性とその評価—国立大学工科系学部の施設計画に関する研究その2，日本建築学会計画系論文集第507号，pp127 - 134, 1998
- 6) 岸本達也，上野武，服部岑生：FMデータベースとシミュレーションを用いた大学施設の利用計画立案と意思決定プロセス，日本建築学会技術報告集第12号，pp151-156, 2001. 1
- 7) 竹下純治他：文部省面積基準と国立大学施設規模の実状に関する考察 国立大学キャンパスの施設計画に関する研究，日本建築学会計画系論文集第527号，121-128, 2000. 1
- 8) 岩田伸一郎，宗本順三，吉田哲，阪野明文：移動コストを評価関数とした室配置へのGA適用と発想支援「An approach to the optimum layout of single-story buildings」における病院手術棟を事例として，日本建築学会計画系論文集第519号，pp341 - 347, 1999
- 9) 岩田伸一郎，宗本順三，吉田哲，阪野明文：移動コストを評価関数とした廊下パターンと室配置へのGA適用「An approach to the optimum layout of single-story buildings」における病院手術棟を事例として，日本建築学会計画系論文集第518号，pp329-333, 1999
- 10) 尾高尚純他：室配置マトリックスを用いた平面プラン作成法について(その1)(長方形平面の場合)，日本建築学会大会梗概集 E-1分冊，pp479-480, 1996
- 11) 尾高尚純他：室配置変換表による平面プランの作成法，日本建築学会大会梗概集 E-1分冊，pp715-716, 1998
- 12) 文部省大臣官房文教施設部：国立大学施設整備計画指針，1996. 5
- 13) 今後の国立大学等施設の整備充実に関する調査研究協力者会議：国立大学等施設の整備充実に向けて—未来を拓くキャンパスの創造—，1998. 3
- 14) 今後の国立大学等施設の整備充実に関する調査研究協力者会議：国立大学等施設に関する点検・評価について 中間まとめ，2000. 3

## 第5章 自律的な大学組織の相制関係に基づいた 施設配置計画

### 5.1 はじめに

#### 5.1.1 本章の目的と方法

#### 5.1.2 既往研究

### 5.2 マルチエージェントシステムによる施設配置モデル

#### 5.2.1 配置問題の条件

#### 5.2.2 エージェントと配置空間の設定

#### 5.2.3 エージェントの相制関係の定義と行動ルール

#### 5.2.4 変数とパラメータ

### 5.3 マルチエージェントシステムのフロー

### 5.4 個別の計画目標に対する施設配置計画

#### 5.4.1 建物を単位とした施設配置計画（ケース1）

#### 5.4.2 異なる組織の混在を許容した施設配置計画（ケース2）

### 5.5 配置計画手法としての有効性に関する考察

### 5.6 まとめ

### 参考文献



## 5.1 はじめに

### 5.1.1 本章の目的と方法

本論では、施設を構成する単位空間の相制関係をモデル化し、マルチエージェントシステムの自己組織化機能を用いて、相制関係の調整によって計画を決定する協調型の施設配置計画法を提案する。複雑な組織同士の関係や、保存建物、構内道路等の保持すべきキャンパスの骨格を制約条件として持つ京都大学本部構内の施設配置計画を事例として取り上げる。

多くの建物群からなる大学施設の配置計画では、計画の初期段階から全体の明確な目標や方向性を示すことができない場合が多い。遺伝的アルゴリズムやニューラルネットワークを用いた配置計画法では、演算過程で計画全体を評価する尺度が不可欠であり、計画全体の目標を段階的にしか明確化することのできない問題に対して適用することは難しい。ますます計画条件が複雑化し、多様な価値観が存在する大学施設の配置計画にとって、計画全体を評価する尺度を設けることなく、それを段階的に形成しながら配置プランを導く計画手法を提示することの意義は大きい。

計画全体の明確な計画目標を示すことができない場合、計画者は、部分の相制関係が満たすべき暫定的な目標を設定し、それによって導かれる配置プランを経験的に評価することで、段階的に計画目標を具体化させる必要がある。計画目標の変化に応じて、部分の相制関係が満たすべき制約条件を調整したり、新たに追加することで、協調的に配置プランを導くプロセスが有効であると考えられる。

マルチエージェントシステムは、複数の行動主体（エージェント）が協力して全体の問題を解決する分散型システムである。各エージェントが個別の行動ルールや目標を持ち、個々が交渉しながら均衡する状態を探索することで高度で複雑な処理を可能とする。エージェントが状況に応じて自律的に合併や分割などの再編を行う特性は、様々な主体の意思によって成立する現実社会のモデルとして応用されている。大学組織は様々な研究教育単位によって構成されており、しばしば個々の主体的な行動が全体的な組織構成や施設配置に比べて重視される。そこで、大学の各組織に属する単位空間をエージェントとして扱い、それぞれのエージェントに行動ルールと、周辺の他のエージェントとの相制関係に関する制約条件を与えることで、全てのエージェントが条件を満たして安定する状態（以下、配置パターン）を探索させる。

大学の施設配置計画では、要求面積は要求条件として与えられるため、配置パターンに関わらず容積率は一定となるが、建蔽率や建物分布の密度には様々な配置パターンが考えられる。また、建物の規模や棟数と共に異なる組織のに属するエージェントの混在度も異なることが予想され、エー

ジェントの相制関係に対して与えられる計画目標が、配置パターンの特性に与える影響を考察する。

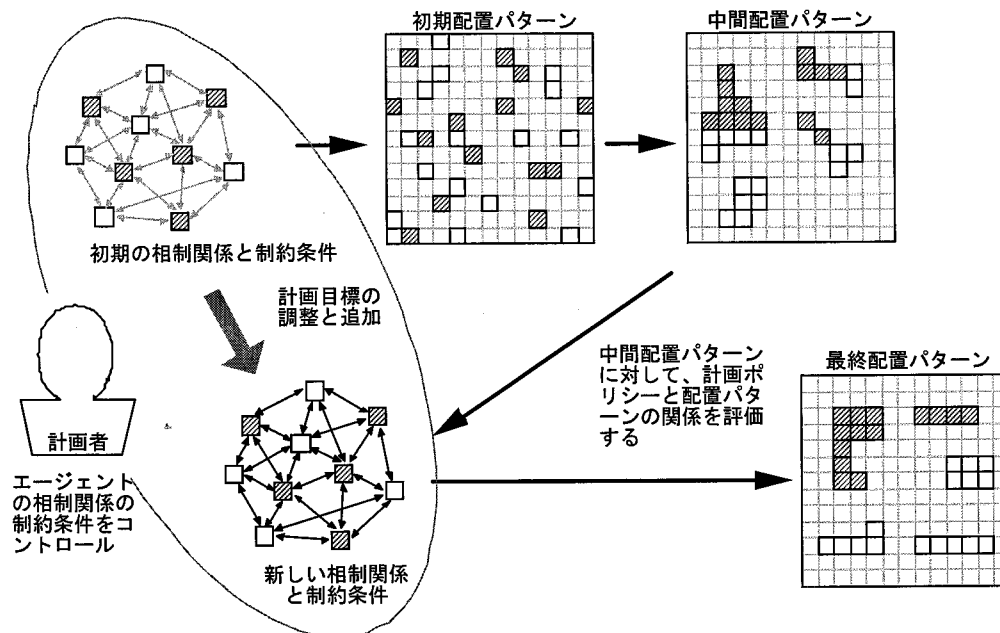


図5-1 マルチエージェントシステムを用いた協調型計画プロセス

### 5.1.2 既往研究

建築分野におけるマルチエージェントシステムの適用事例として、藤井他による、複数主体の協調による作業効率などの推移のシミュレーション<sup>文献1,2)</sup>や、藤岡他による、津波発生時の多種多様な人間行動のモデル化による群集の避難シミュレーション<sup>文献3)</sup>がある。また、瀧澤他は、土地利用の形成要因の解明を目的として、現実都市の土地利用パターンを再現するモデルに応用している<sup>文献4)</sup>。これらの既往研究では、現実世界をよりリアルに再現するために、エージェントの行動ルールやその条件を客観的で正確な情報に基づいて決定することが重要とされており、マルチエージェントシステムの本質的な「問題構成要素の協調行動や動的な変遷過程を再現する機能」を用いて問題のメカニズムを解明している。

本論は、マルチエージェントシステムにおける、個別のエージェントが条件を充足する特性と、エージェントが満たすべき条件の容易な操作性を重視し、エージェントに与える行動ルールとその制約条件を、初期段階では暫定的なものと位置付け、エージェントの行動ルールやその制約条件を段階的に調整することで、計画全体を評価する尺度を定めることができない場合に対して、定常的

な配置パターンの獲得を試みる点で独創的である。また、同じく不明瞭な尺度を前提とした設計問題を扱い、不明瞭な尺度の獲得やその解明を目指した設計プロセス論の分野における研究<sup>文献5)</sup>に対し、本論は、部分と全体の計画目標が共に満たされた計画案の獲得を目的とした方法論として位置付けられ、他に類似する研究はない。

## 5.2 マルチエージェントシステムによる施設配置モデル

### 5.2.1 配置問題の条件

事例として取り上げた京都大学本部構内キャンパスは、第2種住宅専用地域（容積率200%、建ぺい率60%）、20m第1種高度地区に指定されており、敷地面積は162,270 m<sup>2</sup>で、現在の建築面積は55,433 m<sup>2</sup>（建蔽率34.2%）、総延床面積は248,537 m<sup>2</sup>（容積率153.2%）である。近年、高度地区の特例が適用され、高さ30m以下の建物まで建設することが可能となっている。

施設の老朽化と狭隘の改善が課題とされ、京都大学施設長期計画書に従って施設の更新が行われてきた。しかし、新キャンパスの新設に伴う工学研究科の大規模移転や組織の再編成といった大きな変化が発生し、将来計画施設配置図の見直しが不可欠となっている。従来の計画に基づいて既に建設された建物や歴史的価値の高い保存建物が維持されることを前提条件とした、新たな施設配置の将来ビジョンが求められる。本章の配置計画の対象となる各組織の面積は表5-1の通りである。

表5-1 配置対象面積

	要求面積(m <sup>2</sup> )	既存面積(m <sup>2</sup> )	対象面積(m <sup>2</sup> )
自然科学系ゾーン(自然系)	81,110	38,110	43,000
人文科学系ゾーン(人文系)	86,070	21,910	64,160
共用施設ゾーン	52,480	52,480	0
計	219,660	112,500	107,160

### 5.2.2 エージェントと配置空間の設定

本章で設定するエージェントは、組織エージェントと環境エージェントに大別することができる（表5-2）。組織エージェントは移動可能なエージェントで、1つのエージェントは1つの組織によって専有される単位空間を表す。環境エージェントは固定されたエージェントであり、保存建物およびキャンパス周辺や構内道路などの、組織エージェントが活動する環境を形成する。

京都大学のほとんどの校舎は7.5mをモジュールとしており、奥行きを2スパンとした中廊下型の建物が多い。1つのエージェントの平面形状は、既存建物のモジュールに従って7.5m×7.5mと設定する。

表 5-2 エージェントの種類

組織 エージェント	自然系エージェント	低層 中層 高層	計306	配置対象 移動可
	人文系エージェント	低層 中層 高層	計456	
環境 エージェント	保存共通エージェント	低層 中層		移動不可
	保存自然系エージェント	中層 高層		
	保存人文系エージェント	低層 中層 高層		
	構内道路エージェント			
	キャンパス周辺エージェント			

※エージェント数は1エージェントが2.5層として計算

建物の最高高さを30m以下となることを考慮し、1エージェントの高さを10m（2～3階分）とし、同じ位置に1つだけ配置されたときを「低層」、2つ積層されたときを「中層」、3つ積層されたときを「高層」と定義し、この3タイプの高さの建物によって、立体的なキャンパス空間が構成されるものとする。

エージェントの配置空間として図5-2に示す71×56マスの格子状平面を用意する。これは現状のキャンパスの配置を簡略化したモデル空間である。1マスはエージェント平面と同サイズの7.5m×7.5mとし、初期状態において既に環境エージェントは配置されており、組織エージェントは空白のセルにのみ配置することができる。低層(GL)/中層(+10m)/高層(+20m)の3層の配置空間を設け、3層の配置空間におけるエージェントの配置によって、キャンパスの3次元的な配置パターンを表現する。

### 5.2.3 エージェントの相制関係の定義と行動ルール

エージェントの相制関係を、指定された影響範囲内に存在する各種エージェント数の組み合わせによって定義する。影響範囲の指定方法を図5-3に示す。任意のエージェントの座標を $(x, y)$ とし、このエージェントへの他のエージェントからの影響範囲を示すパラメータを $k$ とすると、座標 $(i, j)$   $[x-k \leq i \leq x+k, y-k \leq j \leq y+k]$ 上に存在する他のエージェントの影響を受けるものとする。 $k$ は、エージェントの種類によって決まる値であり、AとBの2種類のエージェント間の影響力を考えると、AからBに対する影響範囲とBからAに対する影響範囲は区別する。

本章では概略的な空間配置を求めることを目的としていることから、上下方向の移動のための階

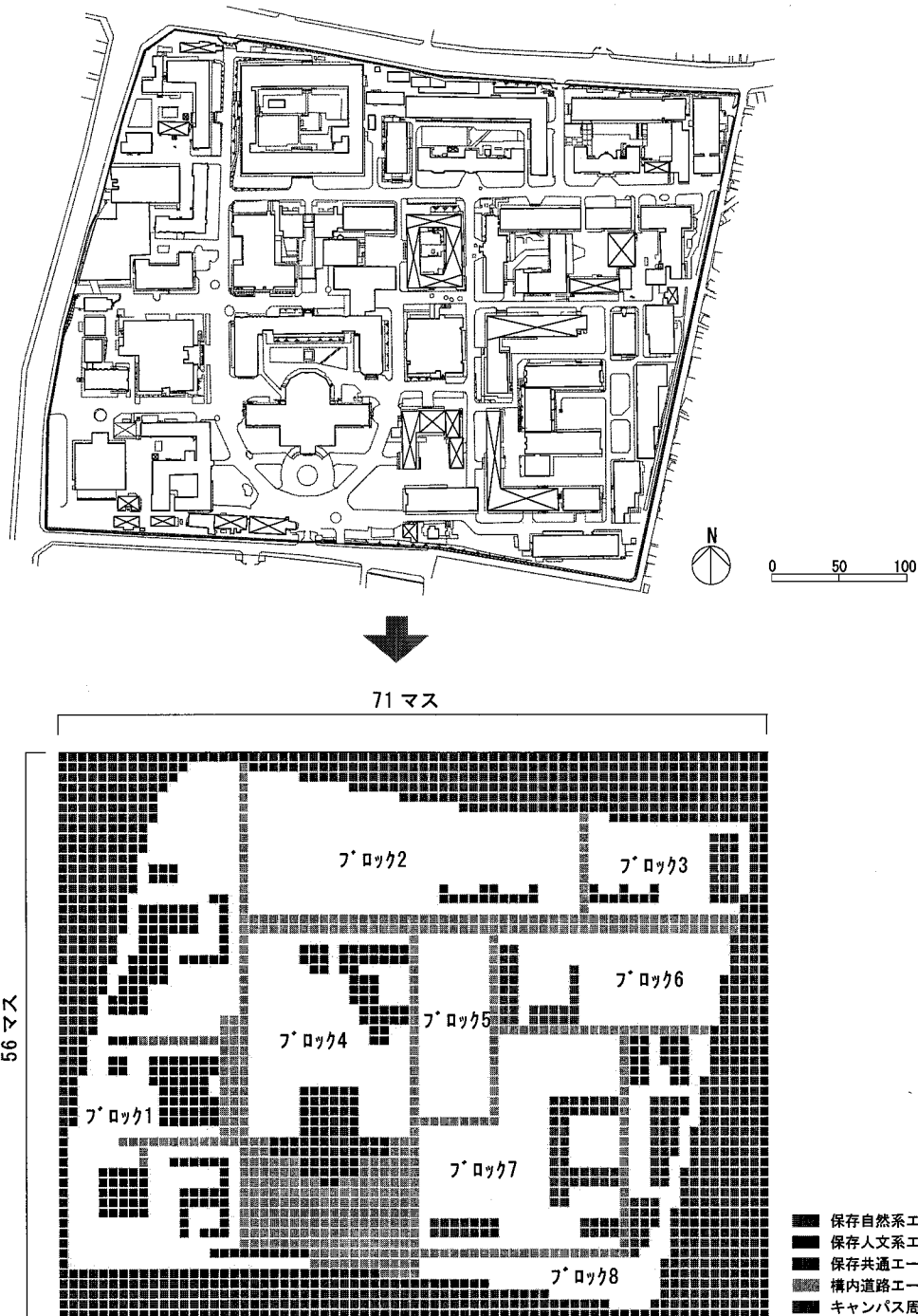


図 5-2 キャンパスの現状（上）と配置空間モデル（下）

段やエレベーターの配置に関しては考慮していない。そのため、全ての平面座標において上下方向の移動をスムーズに行うことができるものと仮定し、影響範囲は平面方向にのみ設定している。

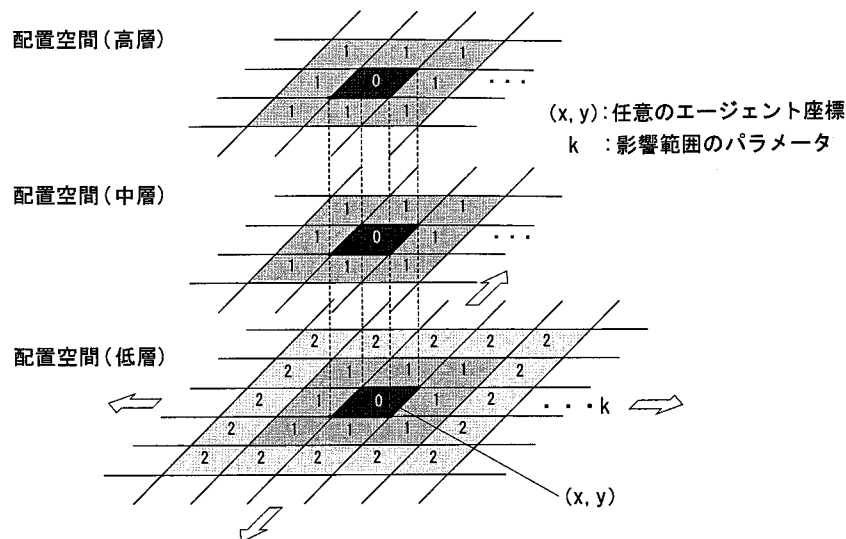


図5-3 影響範囲

エージェントごとに、そのエージェントの影響範囲内に存在する他の各種エージェントの数の条件に応じた行動ルールを与える。一つのエージェントの振る舞いは複数の動作ルールによって規定され、他のエージェントの振る舞いによって動的に変化する環境下において、各エージェントは全ての条件を満たす安定した位置を探索する。組織エージェント同士は同じ位置に重複して配置することが出来るものとし、重複配置されたエージェントは、影響範囲の各種エージェントのまとまり度合の評価に基づいて、各層の配置空間に分配される（表5-3）。

表5-3 エージェントの重複と配置パターン

重複エージェント数			配置パターン 決定条件	配置パターン		
組織	自然系	人文系		低層空間	中層空間	高層空間
1	1	0	無条件	自然系	なし	なし
	0	1	無条件	人文系	なし	なし
2	2	0	無条件	自然系	自然系	なし
	1	1	2パターンから、まとまりを比較してよい方を選択	自然系 人文系	人文系 自然系	なし なし
	0	2	無条件	人文系	人文系	なし
3	3	0	無条件	自然系	自然系	自然系
	2	1	3パターンか、らまとまりを比較して最もよいものを選択	自然系 自然系 人文系	自然系 人文系 自然系	人文系 自然系 自然系
	1	2	3パターンから、まとまりを比較して最もよいものを選択	自然系 人文系 人文系	人文系 自然系 人文系	人文系 人文系 自然系
	0	3	無条件	人文系	人文系	人文系

#### 5.2.4 変数とパラメータ

各エージェントのまとまり度合やエージェントの相制関係に関する条件は、「隣接する各エージェ

ントの数」と「影響範囲に存在する各エージェントの数」の組み合わせとして表現できる。影響範囲内に存在可能な各種エージェントの数を変数とし、この変数が満たさなくてはならない条件を与えることで、エージェントの振る舞いをコントロールする（表5-4）。全てのエージェントが表5-4にあげられた変数を属性として持つわけではなく、問題ごとに、あるいはエージェントごとに、属性として持つ変数の組み合わせは異なる。この他に、エージェントごとに機動力 $m$ を設定する。座標 $(x, y)$ にあるエージェントは、座標 $(i, j)$  [ $x-m \leq i \leq x+m, y-m \leq j \leq y+m$ ]の中から、条件に対して最も適切な位置を探索して移動することができる。

エージェントの行動ルールは、計画の目的に関わらず、エージェントが満たさなければならない共通配置ルール（表5-5）と、目的ごとに独自に設定される個別配置ルールに分けられる。計画者によって設定される、各変数が満たすべき条件やパラメータの組み合わせによって示される個別配置ルールを、本モデルでは計画目標と考える。

表5-4 変数の一覧

エージェントA (x,y)の変数	影響範囲(k)	内容
S1	1	低層空間に存在する自然系エージェント数
S2	1	中層空間に存在する自然系エージェント数
S3	1	高層空間に存在する自然系エージェント数
S4	1	低層空間に存在する人文系エージェント数
S5	1	中層空間に存在する人文系エージェント数
S6	1	高層空間に存在する人文系エージェント数
S7	1	保存共通(低層)エージェント数
S8	1	保存共通(中層)エージェント数
S9	1	保存自然系(中層)エージェント数
S10	1	保存自然系(高層)エージェント数
S11	1	保存人文系(低層)エージェント数
S12	1	保存人文系(中層)エージェント数
S13	1	保存人文系(高層)エージェント数
N1	k1	低層空間に存在する自然系エージェント数
N2	k2	中層空間に存在する自然系エージェント数
N3	k3	高層空間に存在する自然系エージェント数
N4	k4	低層空間に存在する人文系エージェント数
N5	k5	中層空間に存在する人文系エージェント数
N6	k6	高層空間に存在する人文系エージェント数
N7	k7	保存共通(低層)エージェント数
N8	k8	保存共通(中層)エージェント数
N9	k9	保存自然系(中層)エージェント数
N10	k10	保存自然系(高層)エージェント数
N11	k11	保存人文系(低層)エージェント数
N12	k12	保存人文系(中層)エージェント数
N13	k13	保存人文系(高層)エージェント数
N14	k14	キャンパス周辺エージェントの数
N15	k15	構内道路エージェントの数
N16	k16	エージェントを中心とした局所的なエリアの建蔽率
N17	k17	エージェントを中心とした局所的なエリアの容積率
N18	なし	キャンパス全体の建蔽率

※計画条件より、敷地面積 2,877 マス、対象面積 762 エージェント、保存建物  
の延床面積 494 エージェント は変わらないので、容積率も一定値となる。

表 5-5 共通ルール

対象エージェント	計画の前提条件	エージェントの行動 ルール
組織エージェント	環境エージェントと重なって配置されてはいけない。	もし、自分の位置に環境エージェントが存在するときには移動する。
組織エージェント	全ての建物が低層・中層・高層の3タイプから構成される。	もし、重複するエージェント数が3より大きいときには移動する。
中層に配置された組織エージェント	ピロティは考慮しない。	もし、自分と同位置の低層に組織エージェントが存在しないときには移動する。
高層に配置された組織エージェント	ピロティや中間外部層は考慮しない。	もし、自分と同位置の中層および低層に組織エージェントが存在しないときには移動する。

### 5.3 マルチエージェントシステムのフロー

まず、表5-2の自然系エージェントと人文系エージェントを、低層の配置空間に環境エージェントと重ならないようにランダムに配置する。エージェントごとに、1ステップごとに共通ルールと個別ルールを満たしているかを判定し、もし全ての条件を満たせば安定した状態となり、条件を1つでも満たさない場合には、周囲のエージェントの状態に応じて移動する。

マルチエージェントシステムは、理論的には複数のエージェントが同時多発的に振る舞いを行うものであるが、コンピューターの演算処理において、実際には1つ1つのエージェントの処理を順

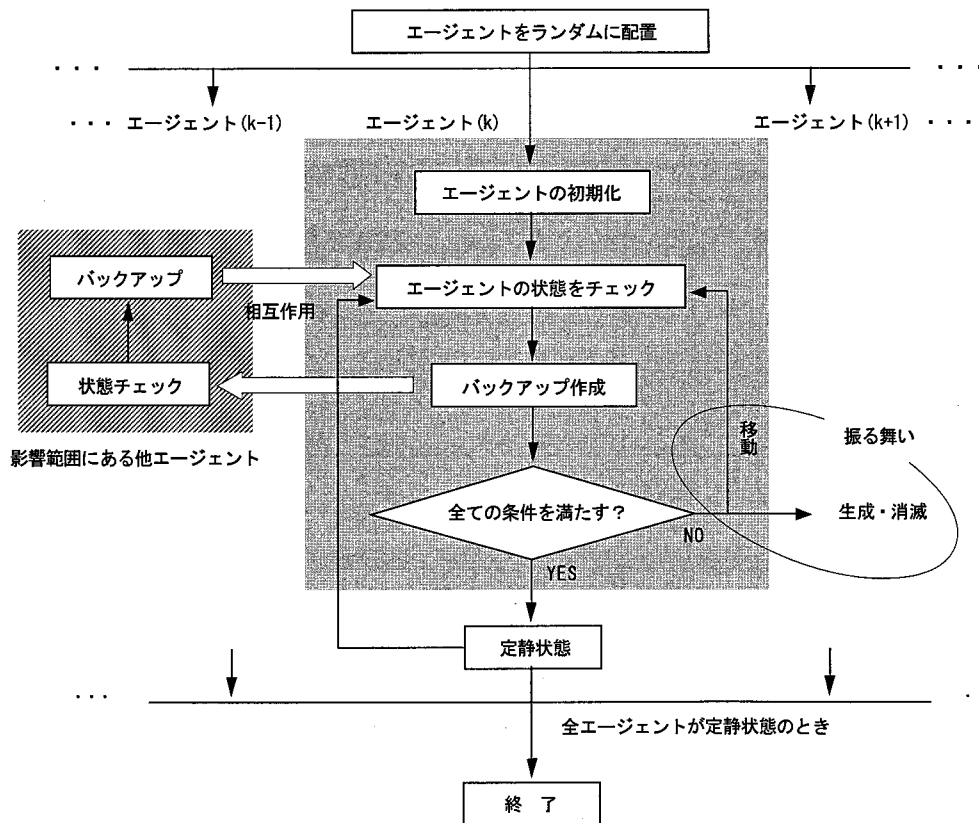


図 5-4 システムのフロー



番に行わざるを得ない。処理順序によって次のステップで読み込まれる状態が異なるばかりか、実際にはありえない状態も発生してしまう。ステップごとの振る舞いを厳密にコントロールする工夫として、状態の一時的なバックアップを行う。各ステップにおいて、「①読み込まれる前ステップの配置パターンの状態」に基づいて、「②個々のエージェントの変化後の状態」が求められ、そのデータがバックアップされる。全てのエージェントの処理が①に基づいて行われた後、全てのエージェントに関する②のデータを同時に書き出し、①の更新を行う（図5-4）。この操作によって、処理順序に左右されない同時多発的なエージェントの振る舞いを再現することが可能となる。

各エージェントは、一旦、全ての条件を満たして安定した状態となったとしても、他のエージェントの振る舞いによって条件が満たされなくなれば、再び移動を繰り返す。全てのエージェントは各ステップごとに必ず1度評価され、全てのエージェントが安定した状態となったとき、試行が終了する。

#### 5.4 個別の計画目標に対する施設配置計画

事例として取り上げた京都大学の問題として、「異なる組織を混在させない施設配置計画」と「複数組織の混在を許容した施設配置計画」の2つの計画指針を想定し、これに基づいて計画目標を設定・調整することで、エージェントの相制関係が良好に保たれた配置パターンを求めるとともに、計画目標と配置パターンの関連性を分析する。

##### 5.4.1 異なる組織を混在させない施設配置計画（ケース1）

まず、従来の大学施設配置の一般的な考え方として、建物を単位として組織および建物を配置する場合を取り上げる。建物ごとに、それがどの組織によって使用されるかを明確にするために、1つの建物が1つの部局や学科といった組織に割り当てられる。現状のキャンパスはこの考え方に基づいて形成されてきた。廊下・階段室・トイレといった共有スペースを含めて、建物を単位で使用組織を特定することができるため、施設管理上の利点が大きいと考えられる。

このケースでは、各種エージェントの個別配置ルールは表5-6のように設定する。機動力は自然系・人文系ともに $m=3$ とする。

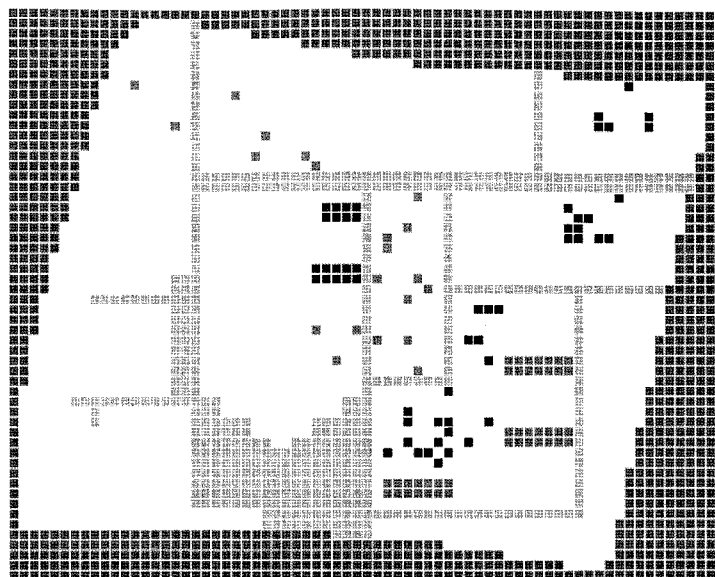
上記の条件に対して導かれた配置パターン（ケース1-1）を図5-5に示す。キャンパス全体の建蔽率は32.9%となり、簡単な条件式で規定されたエージェント同士の相制関係から、1つの建物に異組織が混在しない明確なゾーニングの行われた配置パターンが導かれた。人文系エージェントの隣

表 5-6 ケース 1-1 におけるエージェントの個別ルール

対象エージェント	計画ポリシー	エージェントの行動ルール
自然系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまり(ゾーニング)を重視する。	影響範囲 $k=8$ の保存自然系エージェント数が0のときは移動する(=自然系保存建物を核として、8マス以内の範囲に配置することで、自然系の一体感を確保する)。 [ $k_9=k_{10}=8$ に対して、 $N_9+N_{10} \neq 0$ を満たす。]
	大規模な実験室等の比較的大きめの教室を多く必要とする。	隣接する他の自然系エージェント数をカウントし、その値が6以下の場合には移動する。 [ $S_1+S_2+S_3 > 6$ を満たす。]
	人文系との混在は特に問題としない。	人文系エージェント数に関する条件は特に設定しない。
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント・保存自然系エージェント・保存人文系エージェントの合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S_7+S_8+S_9+S_{10}+S_{11}+S_{12}+S_{13} \neq 0$ を満たす。]
人文系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまり(ゾーニング)を重視する。	影響範囲 $k=8$ の保存人文系エージェント数が0のときは移動する(=人文系保存建物を核として、8マス以内の範囲に配置することで、自然系の一体感を確保する)。 [ $k_{11}=k_{12}=k_{13}=8$ に対して、 $N_{11}+N_{12}+N_{13} \neq 0$ を満たす。]
	研究単位が小さく、同組織内の他の研究チームとの関係は弱い。	隣接する他の人文系エージェント数をカウントし、その値が3以下(自然系エージェントの1/2の集合サイズまで許容する)の場合のみ移動する。 [ $S_4+S_5+S_6 > 3$ を満たす。]
	騒音・振動を考慮して自然系実験室との隣接は望ましくない。	隣接する自然系エージェント数と保存自然系エージェント数の合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $k_1=k_2=k_3=1$ および $k_9=k_{10}=1$ に対して、 $N_1=N_2=N_3=0$ および $N_9=N_{10}=0$ を満たす。]
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント数・保存自然系エージェント数・保存人文系エージェント数の合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S_7+S_8+S_9+S_{10}+S_{11}+S_{12}+S_{13} \neq 0$ を満たす。]

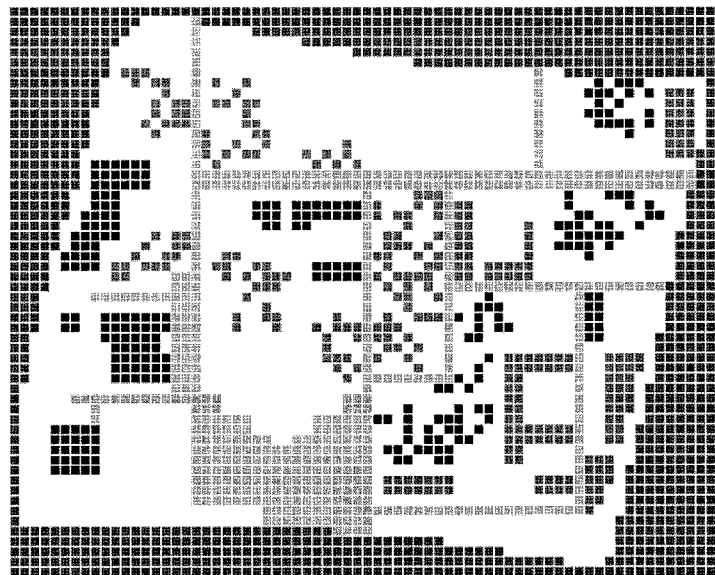
接に関する集合数の条件を小さく設定したことから、小規模で多数棟の建物として分散配置されるか、低層の大規模建物として配置されることが予想されたが、低層と中層における建物規模や分布密度は自然系と同程度となっている。これは自然系エージェント数に対し人文系エージェントの数が約1.5倍存在するため、個々のエージェントの関係性を弱く設定したとしても同程度の密度とならざるを得ないためと考えられる。ただし、高層における分布では、自然系エージェント数が人文系エージェント数を大きく上回る結果となっていることが特徴的である。

ブロック3・ブロック4・ブロック5・ブロック7では、エージェントの密度が高く建て詰まり感が強い。キャンパス空間において建て詰まり感を軽減することは、外部空間を評価する重要な指標の1つである。キャンパス全体の建蔽率は32.9%で現在のキャンパスと同等の値となっているものの、計画の要求面積は現状の延床面積に比べ12%少ないことを考慮すると、優れた計画とは言えない。そこで、組織エージェントの満たすべき条件を見直し、新たにエージェントを中心とした「ローカルなエリアの建蔽率」を検討する。



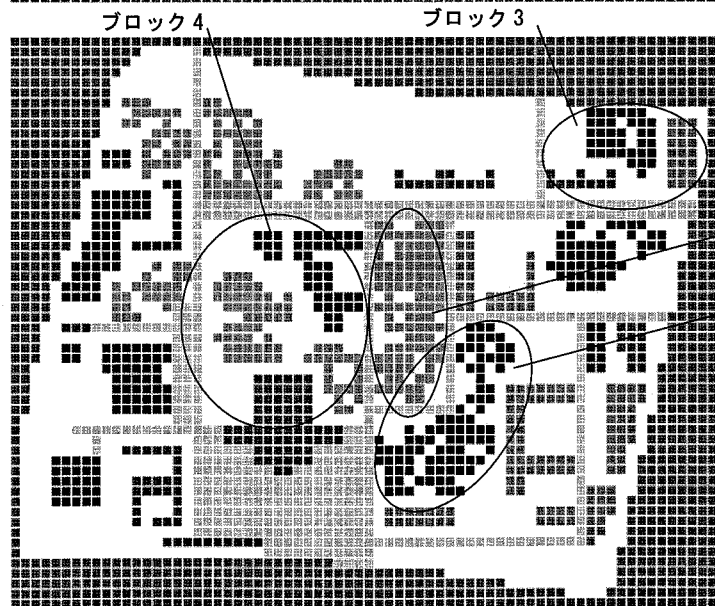
＜高層＞

自然系エージェント数=37  
人文系エージェント数=21



＜中層＞

自然系エージェント数=100  
人文系エージェント数=150



＜低層＞

自然系エージェント数=169  
人文系エージェント数=285

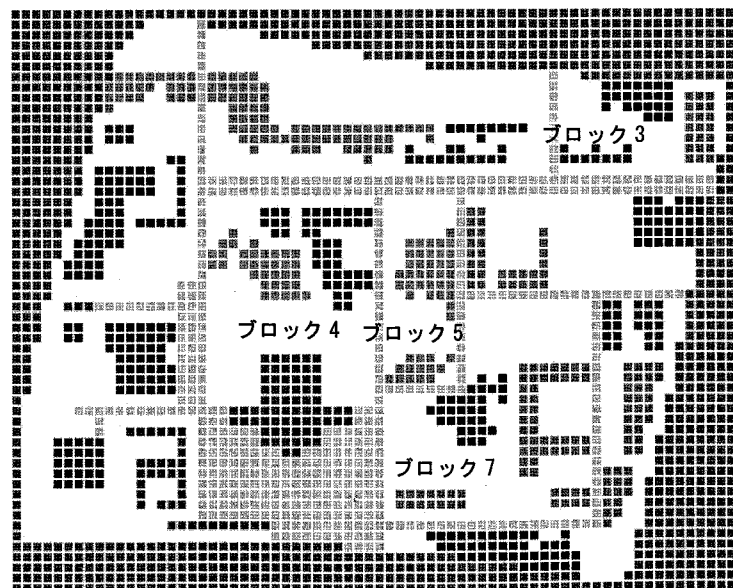
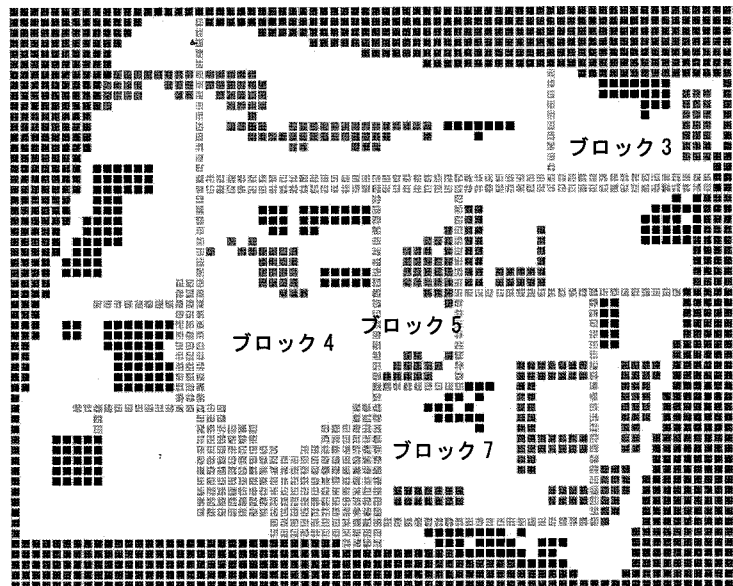
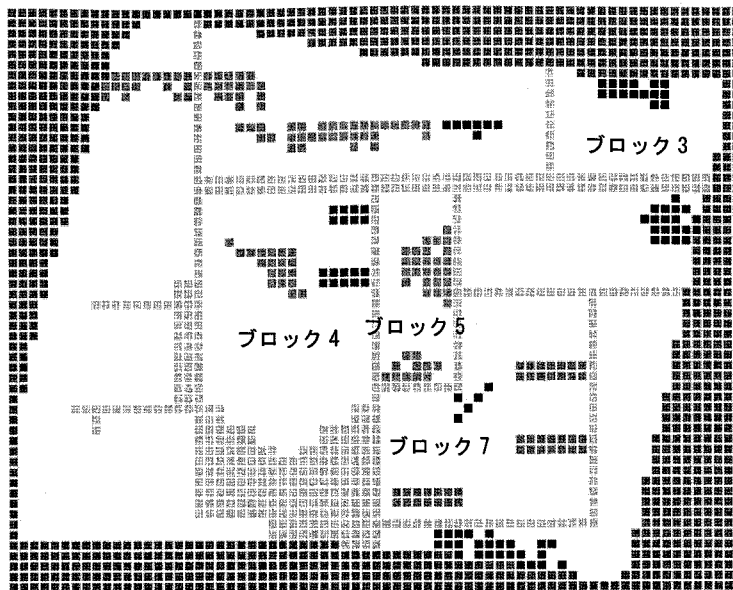
ブロック5

ブロック7

○ キャンパス全体の建蔽率(32.9%)に対して、建て詰まり感が「強い」。

- 自然系エージェント
- 人文系エージェント
- 保存自然系エージェント
- 保存人文系エージェント
- 保存共通エージェント
- 構内道路エージェント
- キャンパス周辺エージェント

図5-5 ケース1-1の配置パターン (812ステップ)



- 自然系エージェント
- 人文系エージェント
- 保存自然系エージェント
- 保存人文系エージェント
- 保存共通エージェント
- 構内道路エージェント
- キャンパス周辺エージェント

図6-6 ケース1-2の配置パターン (2,583ステップ)

保存建物の建築面積はエージェント数にして494で、平均建物階数は4.1階である。新築建物を全て4階建てと仮定するとキャンパス全体の建蔽率33.8%となり、また全て8階建てであると仮定すると25.6%となる。この値を目安として、ローカル ( $k_{16}=10$ ) な建蔽率を30%以下 ( $N_{16} \leq 30$ ) とすることを計画目標に加える。これによって導かれた配置パターン(ケース1-2)を図5-6に示す。キャンパス全体の建蔽率は28.5%となり、ケース1-1の結果と同様に明確なゾーニングが行われ、同じ建物内に異なる組織の混在は見られない。新しく加えられた条件を満たすために配置パターンの調整が行われており、ブロック3・ブロック4・ブロック5・ブロック7の局所的な建て詰め感が改善されている。組織エージェントの高さ方向の密度を比較してみると、ケース1-1では低層：中層：高層＝1：0.55：0.13であったのに対し、ケース1-2では低層：中層：高層＝1：0.75：0.60となっており、中層・高層の密度が増加している。また、建物が高層化するだけでなく、各棟が明確に分散される傾向も見受けられる。

#### 5.4.2 異なる組織の混在を許容した施設配置計画（ケース2）

ケース1に対し、建物を単位とする前提条件にとらわれない場合の配置パターンを考える。近年の新たな研究領域の誕生や組織再編成の変化に伴い、1建物に1組織を割り当てるという枠組みは崩れ、異なる組織が使用している。先に述べたように、建物を単位とした施設配置は施設管理上の利点が多いが、配置パターンの自由度を制約している。ここでは、1建物1組織の条件にとらわれず、組織エージェント同士の相制関係だけをより重視したときの、配置パターンの可能性と異なる組織の混在度の傾向を調べる。

個別配置ルールとして表5-7を設定し、このルールによって導かれた配置パターン(ケース2-1)を図5-7に示す。自然系エージェントと人文系エージェントの混在を制御する行動ルールは取り除いているが、同建物や同階における混在は起こらなかった。同種類のエージェントの集合過程において、ある場所に小さな集合が生成されると、他のエージェントは別の場所に集合して条件を満たすよりも既にある集合に加わることで条件を満たそうする。その結果、条件として与えた数値に対してより大きな集合が形成され易く、極端な分散が発生しないと考えられる。人文系保存建物が配置されたブロック4と自然系保存建物が多いブロック6・ブロック7の中間に自然系と人文系の複合建物が生成されており、周辺のエージェントの影響を受けて建物内のゾーニングが行われている。

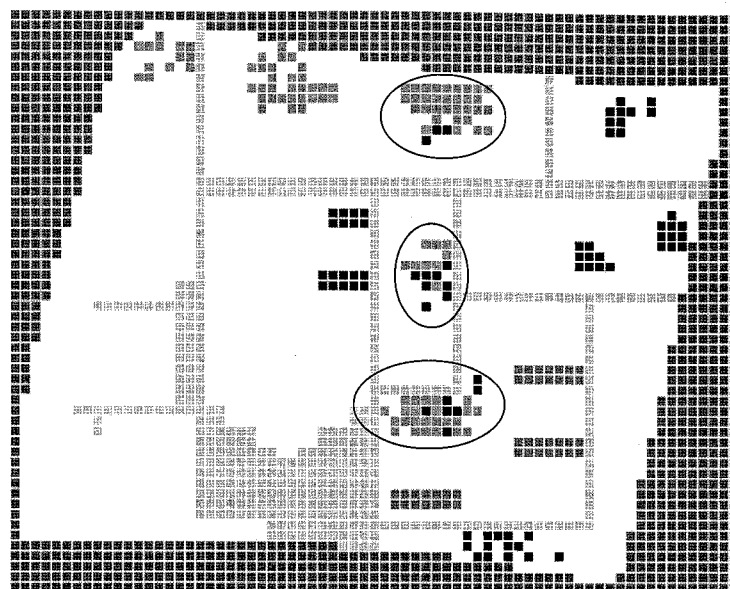
次に、組織間の交流を誘発させることを意図して、2つの組織を積極的に混在させる計画目標を考える。また、大学キャンパスにおいて、建物がキャンパス全体に均質になりすぎると、生活の場

表5-7 ケース2-1におけるエージェントの個別ルール

対象エージェント	計画ポリシー	エージェントの配置ルール
自然系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまり(ゾーニング)を重視する。	自然系保存建物を核として、8マス以内の範囲に配置することで、自然系の一体感を確保する(=影響範囲 $k=8$ の保存自然系エージェント数が0のときは移動する)。 [ $k_9=k_{10}=8$ に対して、 $N_9+N_{10} \neq 0$ を満たす。]
	大規模な実験室等の比較的大きめの教室を多く必要とする。	隣接する他の自然系エージェント数をカウントし、その値が6以下の場合は移動する。 [ $S_1+S_2+S_3 > 6$ を満たす。]
	人文系建物や共通建物との混在は特に問題としない。	人文系、保存人文系、保存共通エージェント数に関する条件は特に設定しない。
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント・保存自然系エージェント・保存人文系エージェントの合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S_7+S_8+S_9+S_{10}+S_{11}+S_{12}+S_{13} \neq 0$ を満たす。]
	任意のゾーンにおいて、建蔽率を30%以下となる建て詰まり感のない外部空間を形成する。	エージェントを中心とする、影響範囲 $k=10$ のローカルな建蔽率が30を超える場合は移動する。 [ $k_{16}=10$ に対して、 $N_{16} \leq 30$ を満たす。]
人文系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまり(ゾーニング)を重視する。	影響範囲 $k=8$ の保存人文系エージェント数が0のときは移動する(=人文系保存建物を核として、8マス以内の範囲に配置することで、自然系の一体感を確保する)。 [ $k_{11}=k_{12}=k_{13}=8$ に対して、 $N_{11}+N_{12}+N_{13} \neq 0$ を満たす。]
	研究単位が小さく、同組織内の他の研究チームとの関係は弱い。	隣接する他の人文系エージェント数をカウントし、その値が3以下(自然系エージェントの1/2の集合サイズまで許容する)の場合のみ移動する。 [ $S_4+S_5+S_6 > 3$ を満たす。]
	自然系建物や共通建物との混在は特に問題としない。	自然系、保存人文系、保存共通エージェント数に関する条件は特に設定しない。
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント数・保存自然系エージェント数・保存人文系エージェント数の合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S_7+S_8+S_9+S_{10}+S_{11}+S_{12}+S_{13} \neq 0$ を満たす。]
	任意のゾーンにおいて、建蔽率を30%以下となる建て詰まり感のない外部空間を形成する。	エージェントを中心とする、影響範囲 $k=10$ のローカルな建蔽率が30を超える場合は移動する。 [ $k_{16}=10$ に対して、 $N_{16} \leq 30$ を満たす。]

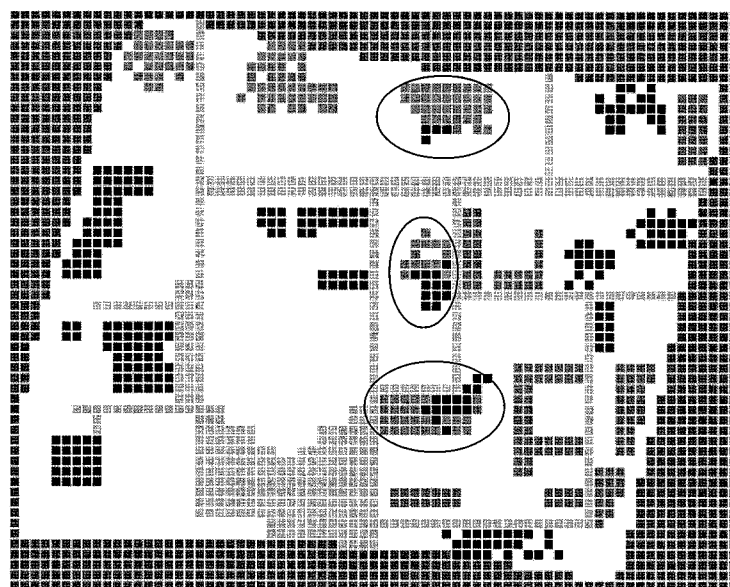
が生まれなため、適度な不均質さも考慮する。ケース2-1の配置パターンはやや均質的であるため、ローカルな建蔽率を算出するエリアを広げることで配置パターンの自由度を高める。また、大学建物がキャンパス周辺の環境に圧迫感を与えないように配慮する。このとき、個別配置ルールは表5-8のようになる。

このとき導かれた配置パターン(ケース2-2)を図5-8に示す。計画目標通りに自然系エージェントと人文系エージェントがよく混ざり合った配置パターンになっている。中層・低層・高層の順に混在度が高く、高層に配置されるエージェントのほとんどが人文系エージェントとなっている。ケース2-1の結果との比較すると、建物の棟数が少なく、1建物の平均規模が大きくなっていることがわかる。建物の規模が大きくなることでキャンパス内に不均質さが生まれて、複数のまとまったオープンスペースができたと考えられ、計画目標に合致した配置パターンであると言える。



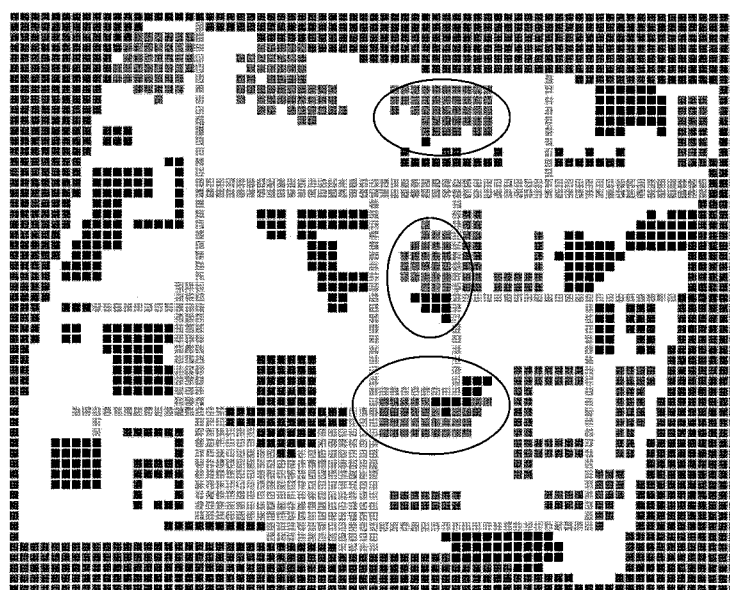
〈高層〉

自然系エージェント数=61  
人文系エージェント数=109



〈中層〉

自然系エージェント数=110  
人文系エージェント数=147



〈低層〉

自然系エージェント数=135  
人文系エージェント数=200

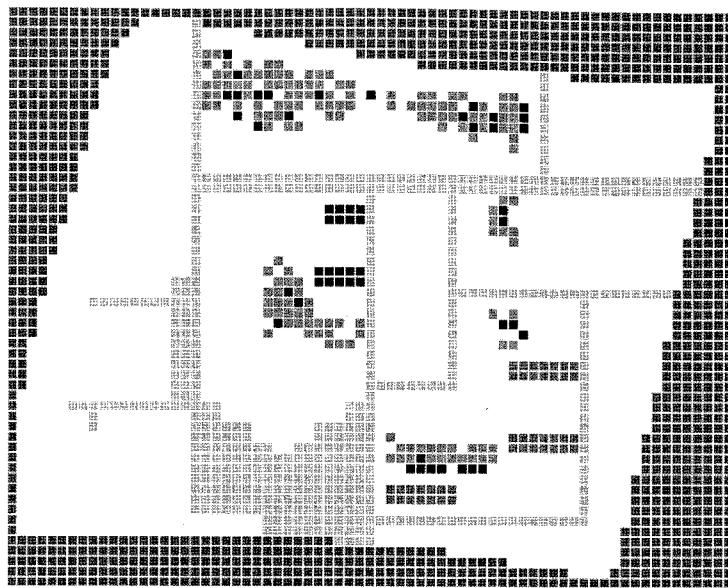
- 複合建物
- 自然系エージェント
  - 人文系エージェント
  - 保存自然系エージェント
  - 保存人文系エージェント
  - 保存共通エージェント
  - 構内道路エージェント
  - キャンパス周辺エージェント

図5-7 ケース2-1の配置パターン (1,437ステップ)

表 5-8 ケース 2-2 におけるエージェントの個別ルール

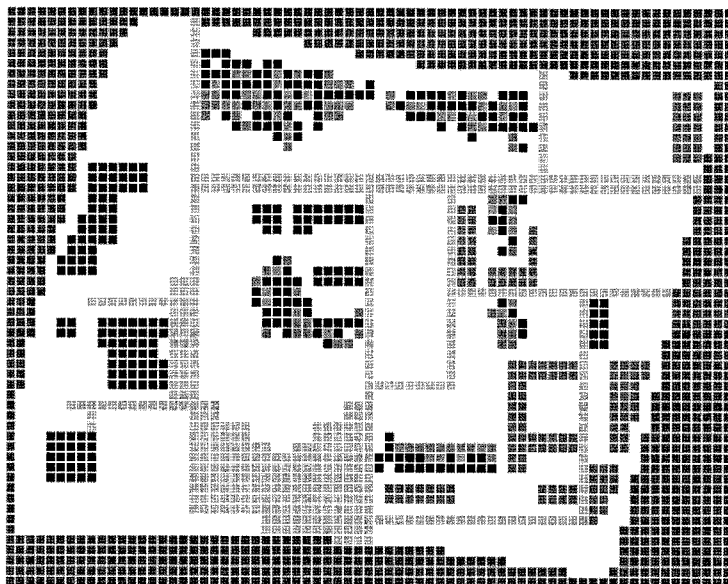
対象エージェント	計画ポリシー	エージェントの配置ルール
自然系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまりはあまり重視しないが、極端な分散は避ける。	影響範囲 $k=8$ の保存自然系エージェント数が0のときは移動する(=自然系保存建物を核として、25マスの範囲を超えて配置されてはならない)。 [ $k7=10, k8=10$ に対して、 $N7+N8 \neq 0$ を満たす。]
	研究単位の孤立を避ける。	隣接する他の自然系エージェント数をカウントし、その値が4以下の場合は移動する。 [ $(S1+S2+S3) > 4$ を満たす。]
	学融合を意図した人文系との適度な混在を確保する。	$k=1$ の範囲に存在する自然系エージェント数の和をA、人文系エージェントの和をBとしたとき、 $A \leq B/3$ または $A \geq 2B$ のときは移動する(=隣接するエージェントの種類が一方の系に偏偏ってはならない)。 [ $(S4+S5+S6)/3 < S1+S2+S3 < 2(S4+S5+S6)$ を満たす。]
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント・保存自然系エージェント・保存人文系エージェントの合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S7+S8+S9+S10+S11+S12+S13 \neq 0$ を満たす。]
	任意のゾーンにおいて、建蔽率を30%以下となる建て詰め感のない外部空間を形成する。	エージェントを中心とする、影響範囲 $k=15$ のローカルな建蔽率が30を超える場合は移動する。 [ $k16=15$ に対して、 $N16 \leq 30$ を満たす。]
	キャンパス外部への影響を考慮して、敷地境界から一定距離内には配置しない。	影響範囲 $k=2$ のキャンパス周辺エージェント数が1以上のときは移動する(=キャンパスの敷地境界線から2マスの範囲に新築建物ができないようにする)。 [ $k14=2$ に対して、 $N14=0$ を満たす。]
人文系エージェント	同組織の使用する建物群のまとまりはあまり重視しないが、極端な分散は避ける。	影響範囲 $k=8$ の保存人文系エージェント数が0のときは移動する(=人文系保存建物を核として、25マスの範囲を超えて配置されてはならない)。 [ $k11=k12=k13=15$ に対して、 $N11+N12+N13 \neq 0$ を満たす。]
	学融合を意図した自然系との適度な混在を確保する。	$k=1$ の範囲に存在する自然系エージェント数の和をA、人文系エージェントの和をBとしたとき、 $B \leq A/2$ または $B \geq 3A$ のときは移動する(=隣接するエージェントの種類が一方の系に偏偏ってはならない)。 [ $(S4+S5+S6)/3 < S1+S2+S3 < 2(S4+S5+S6)$ を満たす。]
	保存建物と隣接しない。	隣接する保存共通エージェント数・保存自然系エージェント数・保存人文系エージェント数の合計をカウントし、その値が0でない場合には移動する。 [ $S7+S8+S9+S10+S11+S12+S13 \neq 0$ を満たす。]
	研究単位の独立性が高く、分散配置を問題としない。	まとまりに関する条件は特に設定しない。
	任意のゾーンにおいて、建蔽率を30%以下となる建て詰め感のない外部空間を形成する。	エージェントを中心とする、影響範囲 $k=15$ のローカルな建蔽率が30を超える場合は移動する。 [ $k16=15$ に対して、 $N16 \leq 30$ を満たす。]
	共通建物の利用者が多いため、保存共通建物への距離を考慮する。	影響範囲 $k=10$ の保存共通エージェント数が0のときは移動する(=10マスの範囲に共通建物が存在しなくてはならない)。 [ $k7=k8=10$ に対して、 $N7+N8 \neq 0$ を満たす。]
	キャンパス外部への影響を考慮して、敷地境界から一定距離内には配置しない。	影響範囲 $k=2$ にキャンパス周辺エージェントが1つ以上存在するときは移動する(=キャンパスの敷地境界線から2マスの範囲に新築建物ができないようにする)。 [ $k14=2$ に対して、 $N14=0$ を満たす。]





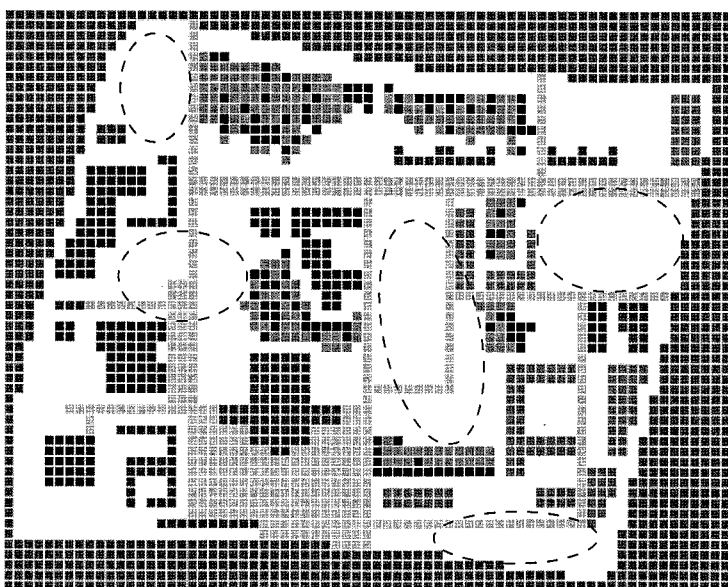
〈高層〉

自然系エージェント数=35  
人文系エージェント数=154



〈中層〉

自然系エージェント数=152  
人文系エージェント数=103



〈低層〉

自然系エージェント数=119  
人文系エージェント数=199

○ まとまった広さのオープンスペースの確保

- 自然系エージェント
- 人文系エージェント
- 保存自然系エージェント
- 保存人文系エージェント
- 保存共通エージェント
- 構内道路エージェント
- キャンパス周辺エージェント

図 5-8 ケース 2-2 の配置パターン (2,182 ステップ)

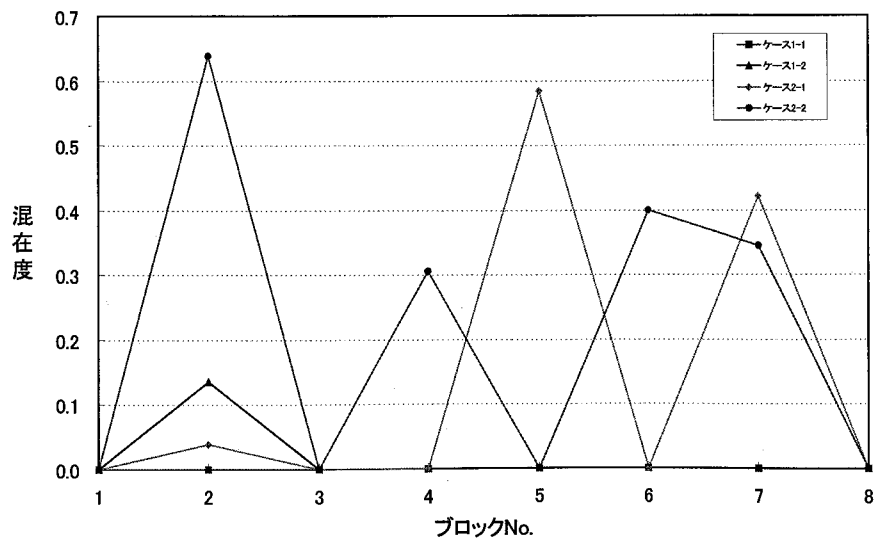
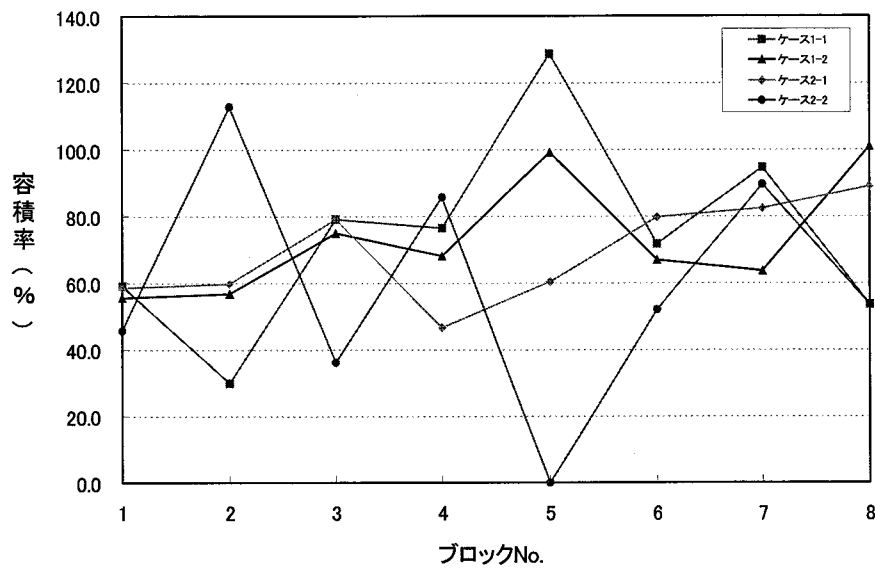
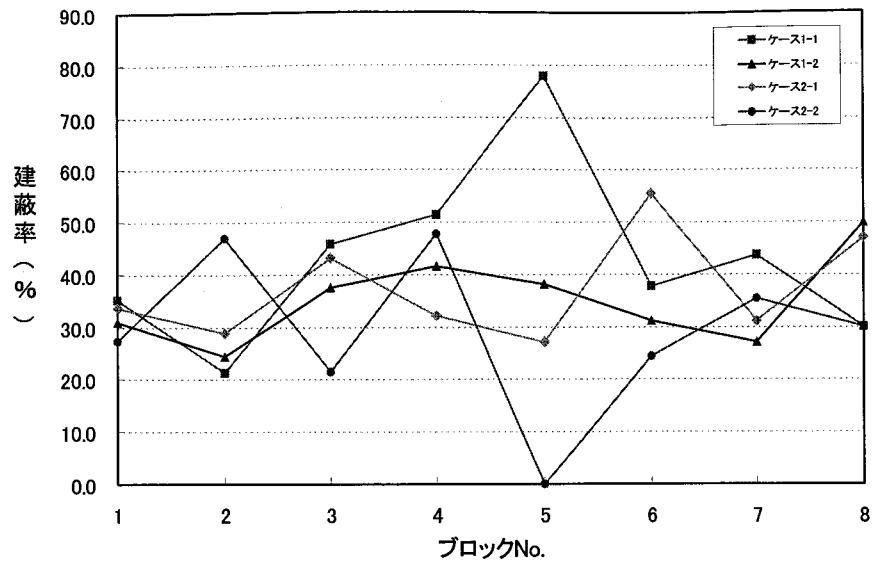


図5-9 各ケースにおけるブロック別の建蔽率・容積率・混在度（ブロックNo. は図5-2 参照）

## 5.5 配置計画手法としての有効性に関する考察

様々な配置パターンの検討を行うためには、あらかじめ行動ルールと実際のエージェントの振る舞いの大要を把握しておくことが必要である。本論の各ケースの結果は、行動ルールの設定の試行錯誤の末に導かれたが、そこで得られた変数の条件とパラメータの設定に関する知見を以下に記す。

### (1) エージェントの集合数に関する条件

大規模なエージェントの集合が形成される過程では、まず小規模な集合が多数生成され、これを核として他のエージェントが取り込まれながら成長し、条件に適合する集合だけが淘汰されてさらに成長を続ける。エージェントが安定するための集合数の条件として大きな値を設定すると、核となる小規模の集合が発生しにくくなってしまう。エージェントの集合数に関するルールを与えると、核となる小規模の集合の生成を調整することが重要であり、本論では、核の最小集合数条件を、「0」個から「4」個の5段階に調整することで、建物と見なすのに十分に多様な規模や形態の集合が発生することを確認した。また、それ以上に大きな値を設定すると、急激に核の生成および安定が困難になった。

### (2) 影響範囲

N1からN18の変数の制約条件を設定するには、同時に決定される影響範囲 $k$ の値との関係を考慮する必要がある。 $k$ の値が小さいとき、変数の変化量に対する配置パターンの変化は大きく、 $k$ の値が大きいとき、同じ変数の変化量に対して配置パターンの変化は小さくなる。ローカルな建蔽率やゾーニングといった、広域に関する配置ルールを操作するためには、影響範囲 $k$ の値と相対的に変数を調整する幅を大きくすることが必要である。本論のシミュレーションでは、 $k=10$ のときの適切な変数の調整幅を「3」としている。

### (3) 初期状態

同じ配置ルールを用いた場合の配置パターンの再現性を確認することは、手法としての有効性を示す上で重要である。シミュレーションの準備段階の試行錯誤において、初期状態を発生させる乱数を変化させたときの配置パターンの傾向を検証している。収束過程では、核となる集合の数、大きさ、位置の異なるタイプの配置パターンが出現した。これは、一度形成された集合も、まだ安定した状態に至っていないエージェントの影響を受けて再び分解され、新たな集合場所を探索するためである。しかし、最終的には、建物の位置や形状にある程度のばらつきや違いがあるものの、おおよそ同様の傾向を示すと言える配置パターンが得られることを確認した。ただし、安定するまでのステップ数は、初期状態に依存して大きな差が出る結果となった。

#### (4) 機動力

配置パターンの連続的な変化によって、エージェントの機動力の設定は重要である。保存建物や構内道路の配置がエージェントの移動を拘束する方向に働くため、適度に大きな機動力が必要となる。しかし、機動力が大きすぎるとき、まだ条件を満たさずに移動するエージェントが、条件を満たして安定しているエージェントの集合を分解する頻度が高くなり、ステップごとの演算時間も飛躍的に増大する。効率的な配置パターンの探索にとって、適度に緩やかな変化の実現が不可欠であり、これはエージェントが、まず自らの近傍において安定可能な位置を探索し、必要に応じて広域を探索することを意味する。本論では、構内道路の最も大きな幅員に基づいて機動力を「3」と決定している。

特定の配置ルールの変更が配置パターン及ぼす影響を厳密に記述することは難しいとはいえ、上記のような概略的な知識は、相制関係が満たすべき制約条件を設定する上で有用な情報である。

#### 5.6 まとめ

初期段階において計画の明確な方向性を定めることが困難な問題に対する計画法に関する考察を行った。施設を構成する単位空間の相制関係をモデル化し、その相制関係の制約条件を調整することで、段階的に計画全体の目標を決定して配置パターンを導く配置計画法を提案した。また、このような協調型の計画法に対して、マルチエージェントシステムを応用することの有効性を示した。この計画法では、計画者による調整は必ずエージェントの相制関係に対して行われるため、獲得された配置プランは、部分において計画者の計画目標を必ず満たしていることを確認した。また、最終的な配置プランは、計画者の知識や経験に基づいて総合的にも評価されることで、部分の条件だけを満たす断片の寄せ集めではなく、部分と全体の秩序が計画者によってバランスよく調整された価値の高い情報となった。

「全体性を作り出す仕事は、都市がかたちを形成していくプロセスが根本的に変わった時、初めて可能になる<sup>文献1)</sup>」という Alexander の言葉を引用すれば、今回提案した配置計画法によって、マルチエージェントシステムと計画者の協調型プロセスとして、価値観が多様に存在する配置計画に対する一つの方法論を示すことができたと言える。

## 参考文献

- 1) 谷本潤, 藤井晴行: 複雑系モデルに基づくアカデミック・ソサエティの盛衰予測に関する研究—大学における研究組織と効率に関する考察—, 日本建築学会計画系論文集 第559号, pp. 299-306, 2002. 9
- 2) 藤井晴行, 谷本潤: 社会システムとしての学術組織のエージェントに基づくシミュレーション, 日本建築学会計画系論文集 第561号, pp. 189-196, 2002. 11
- 3) 藤岡正樹, 石橋健一, 梶秀樹, 塚越功: 津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価, 日本建築学会計画系論文集 第562号, pp. 231-236, 2002. 12
- 4) 瀧澤重志, 河村廣, 谷明勲: 適応的マルチエージェントシステムによる都市の土地利用パターンの形成, 日本建築学会計画系論文集 第528号, pp. 267-275, 2000. 2
- 5) 松下大輔, 宗本順三: 対話型進化計算による形態構成規則の獲得モデル, 日本建築学会計画系論文集, 第560号, pp. 135-142, 2002. 10
- 6) 山影進, 服部正太 編: コンピュータのなかの人工社会—マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系—, 共立出版, 2002
- 7) 生天目章: マルチエージェントと複雑系, 森北出版社, 1996
- 8) スミス J.M: 進化とゲーム理論、産業図書、1987
- 9) C・アレグザンダー他: まちづくりの新しい理論, 鹿島出版会, 1989
- 10) C・アレグザンダー他: オレゴン大学の実験, 鹿島出版会, 1977
- 11) 岩田伸一郎, 宗本順三, 吉田 哲, 阪野明文: 移動コストを評価関数とした室配置へのGA適用と発想支援—「An approach to the optimum layout of single-storey buildings」における病院手術棟を事例として—, 日本建築学会計画系論文集 第519号, pp. 341-347, 1999. 5
- 12) 岩田伸一郎, 水沼靖昭, 宗本順三: 大学の組織構成要素のまとまりと要求面積充足度に基づいた既存校舎への室再配置計画, 日本建築学会計画系論文集 第565号, pp. 167-173, 2003. 3



## 第6章 総延床面積と総立面面積の推移に基づいた キャンパス建替計画

### 6.1 はじめに

#### 6.1.1 本章の目的と方法

#### 6.1.2 既往研究

### 6.2 評価尺度と建替条件の設定

### 6.3 2つの尺度の評価値を求めるための単位空間の設定

### 6.4 GAを用いた二目的最適化手法

### 6.5 二目的最適化による建替計画(シミュレーション1)

#### 6.5.1 コード化

#### 6.5.2 結果

### 6.6 目標配置プランの補正を考慮した建替計画 (シミュレーション2)

#### 6.6.1 コード化

#### 6.6.2 結果

### 6.7 建替期間中における目標の変更を考慮した建替計画 (シミュレーション3)

#### 6.7.1 目標の変更方法

#### 6.7.2 結果

### 6.8 まとめ

### 参考文献

## 6.1 はじめに

### 6.1.1 本章の目的と方法

本章では、大学キャンパスの建替計画を事例として、部分となる建替期間中の各段階の配置プランの評価と、全体である建替スケジュールの相制関係をモデル化することにより、キャンパスの機能性の維持と良好な環境の保持を同時に進行させる建替スケジュールとその変遷過程における配置プランを獲得することを目的とする。

成長と変化を続ける大学にとって、教育・研究にふさわしい施設を整備してゆとりと潤いのあるキャンパスとするためには、長期的な観点に立った建替構想が不可欠である。大学キャンパスの配置計画では、一般的には計画の全体的な方針を示すマスタープランの作成が重要視されている。しかし、マスタープランはあくまで計画の方向付けを行う将来予想図であって最終的な到達点(以下、目標配置プラン)のみを示すもので、空間の変容過程に関する情報はほとんど含んでいない。現実の建替計画では、優秀なマスタープランを作成できたとしても、それに到達するまでの環境が非常に劣悪なものとなったり、社会情勢や時の政策を反映してマスタープランの方向性が崩れ建物が場当たりの的に建てられるという事態も発生している。このことから、配置計画において時間的視点をもって評価することの重要性が理解できる。

キャンパスの機能性と環境を評価する2つの尺度を設定し、GAを用いた二目的最適化を行うことで必ずしも順序を決定することができない優秀な解の集合としてパレート最適解集合を獲得し、その中から計画者が個別の価値観に基づいてパレート最適解を選択することで、建替スケジュールを獲得する手法を考える。

[本章の主題となる部分と全体の相制関係]

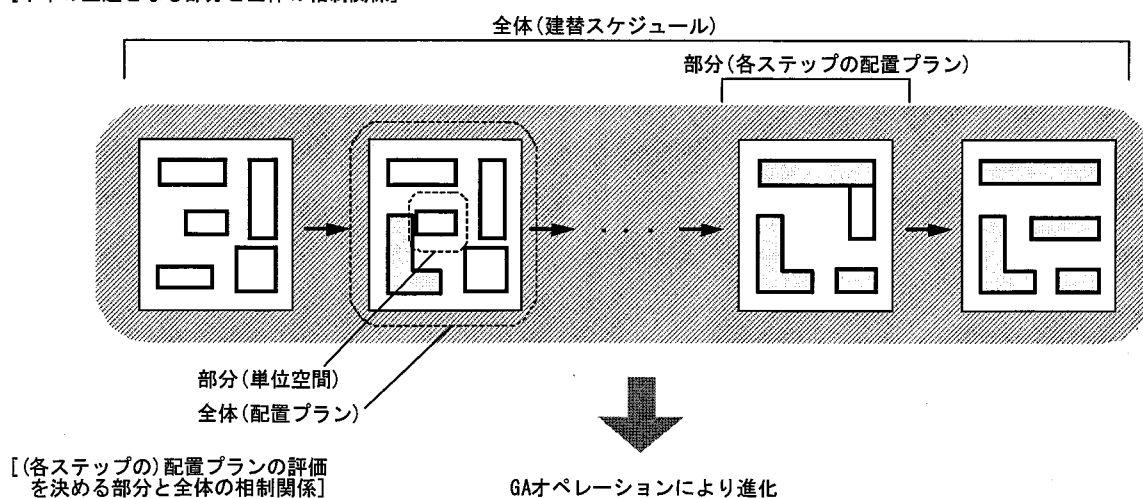


図6-1 部分と全体の相制関係





建替計画と言っても、対象となるキャンパスの現状によって問題の性格は大きく異なる。本章では、建替がキャンパスのエリア全体に渡って必要で、敷地にゆとりがなく、玉突き現象のように新築と取壊しが平行する逐次建替計画（図6-2）を対象とする。一般的に目標配置プランが先に示されることになるが、京都大学本部構内を事例として取り上げ、1995年に計画された京都大学長期計画マスタープラン<sup>文献1</sup>）を目標配置プランとして設定する（図6-3、以下京都大学本部構内を建替対象）。

本章で考察する逐次建替計画の概要は、以下のとおりである。

- ①目標配置プランに至る過程の配置プランの評価に基づいて、建替期間全体として良好な配置プランを保つことができる建替スケジュールを導く（シミュレーション1）。
- ②建替期間の配置プランの評価に基づいて、目標配置プラン自身の見直しを行い、そのときの建替スケジュールを導く（シミュレーション2）。
- ③2つの評価尺度の具体的な目標を定め、その達成度に応じて建替期間の途中で計画全体の目標を調整することで、それぞれの尺度の過剰な充足を避けた現実的な建替スケジュールを導く（シミュレーション3）。

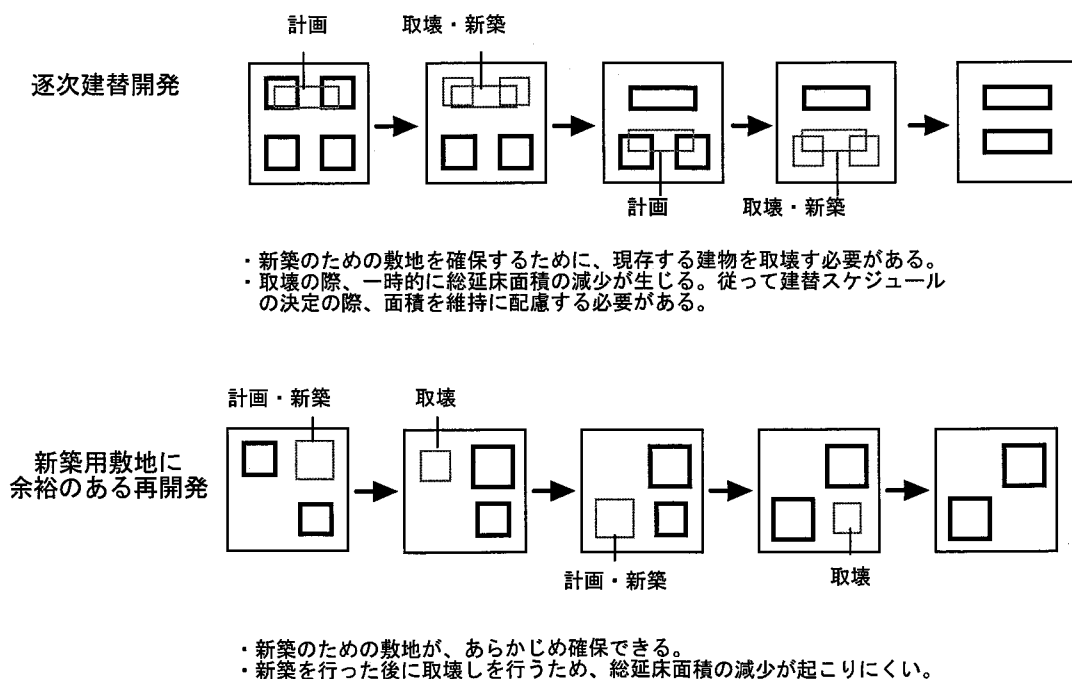


図6-3 逐次建替計画

### 6.1.2 既往研究

建築のスケジューリング問題へGAを適用する試みとして、建築生産分野における建築工事の行程計画における研究が挙げられる。工程計画を決定するに当たり、施工順序、工期、工事遅れ、経済的問題などを考慮することが求められるが、長岡他は建築工事の合理的な行程計画を作成するために、ネットワーク図で表される工程をGAを用いてモデル化した。1職種の労務平準化の方法を提示し<sup>文献2)</sup>、続けて労務コストが最小限になるように、労務資源である多職種の作業者を最適配置する問題にGAを適用し、優秀な工程を発見している<sup>文献3)</sup>。峰政他は、工事費の削減、工期の短縮などを可能にするために、生産情報の計画的早期確定を支援する工程表の作成にGAを適用している<sup>文献4)</sup>。

以上のように、建築分野のスケジューリング問題の最適化手法としてGAは既に適用されているが、時間的変遷を考慮した空間の性質を評価する二目的なスケジューリング問題にGAを適用した例はない。

### 6.2 評価尺度と建替条件の設定

京都大学では狭隘の解消は施設整備計画の重要な課題であり、また、長期的な建替期間において、教育・研究への支障を極力少なくするように配慮して大学の機能を維持しなくてはならない。大学の機能を維持することは、使用可能な延床面積を確保することであると考えることができ、キャンパス全体の総延床面積の変動は逐次建替計画の重要な尺度である。

キャンパスは教育・研究の場であると同時に学生等の生活の場でもあり、アメニティの形成にも配慮する必要がある。建物の外部にいる人が、建物から感覚的に受ける影響には様々なものが考えられるが、本章では建物群によって形成される外部空間を評価するのに適した感覚の指標として「開放感・圧迫感」を取り上げる(表6-1)。建替期間中における総延床面積の要求を満たすことだけを目的としても、キャンパスは高容積率で建て詰まり状態となる期間が長くなり、豊かな外部環境が整備されることはない。そこで、圧迫感軽減という建物を減らすベクトルを持った、もう一つの評価尺度を導入する。総延床面積増大の尺度と相反するもので、2つの尺度はトレードオフの関係にあると考えられる。

「圧迫感・開放感」と空間的特性の関係を評価する尺度として、小木曽の研究<sup>文献2、3)</sup>で提案された立面建蔽率(立面投影面積/敷地面積)が挙げられる。本章の計画対象では分母となる敷地全体の面積は変化しないため、立面投影面積を扱えばよい。しかし、立面投影面積には建物から受ける

表 6-1 既往研究に見られる様々な空間特性と感覚・環境状態との対応関係

感覚・環境状態 空間的特性		内部空間				外部空間			
		室内への日照	通風	眺望	隣棟との近接度	点在⇔孤立	蜷集⇔巨大構築物	建詰り感	開放感⇔圧迫感
密度指標	容積率	◎							
	建蔽率							○	
	体積率								○
	空地床面積率	◎	◎						
	棟数密度					◎	◎		◎
	閉鎖面数 (キューブスケール)							◎	
	擬似建蔽率								◎
	戸外空間率	◎						◎	
	高さ(建物の)			○			○		○
	距離(建物との)			○	◎				
視点に関するもの	立体角比・形態率			○			○	◎	
	影響圏	◎						○	
	斜線制限	◎							
	立面建蔽率							○	◎
	建物のD/H								◎
建物の構成	隣棟間隔		○	○	◎				
	輝度								○
閉空	見かけの容積								○

- ◎ 関係性高い  
○ 関係性あり

圧迫感が距離の増大につれて減衰するという事象が反映されていない。そこで圧迫感と建物前面の大きさおよび建物までの距離との関係を明らかにした武井の研究成果<sup>文献4, 5, 6)</sup>に基づいて、立面投影面積を距離で除して補正した補正立面面積を用いる(図6-3)。この補正立面面積は、圧迫感の大きさと関係の深い2つの要素(立面の大きさ、建物までの距離)を反映するものであり、評価基準面での計測も容易である。複数の基準面において評価を行うことにより、敷地内全体の外部環境を総合的に評価することができると考えられる。そこで各建物の補正立面面積の総計を総立面面積と定義する。

キャンパスの圧迫感を評価するとき、圧迫感を受ける主体をキャンパス内の不特定多数の学生や職員であると想定して、これら主体の様々な行動が行われる道路状空間において評価することが適当であると考えられる。そこで、キャンパス内の主要な道路状空間(図6-2のR1~6)および敷地を囲む周辺道路を評価基準面として設定する。

二目的最適化問題では、GAの「集団による解の探索」という特徴を生かしたパレート最適解を

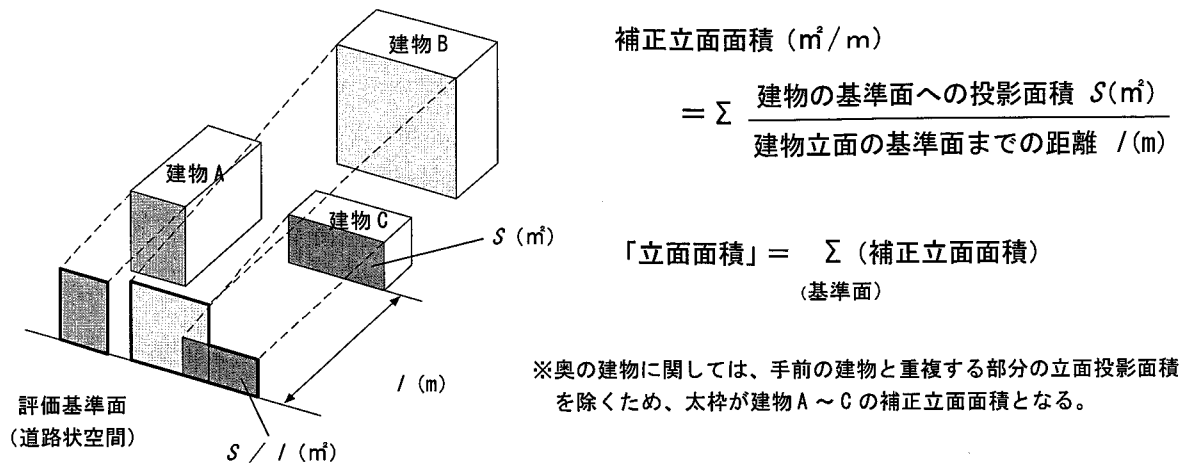


図6-3 補正立面面積

集合として直接求める手法が知られており、この手法を総延床面積と総立面面積の二目的に対して当てはめて優秀な解の探索を行う文献<sup>8、9、10</sup>。

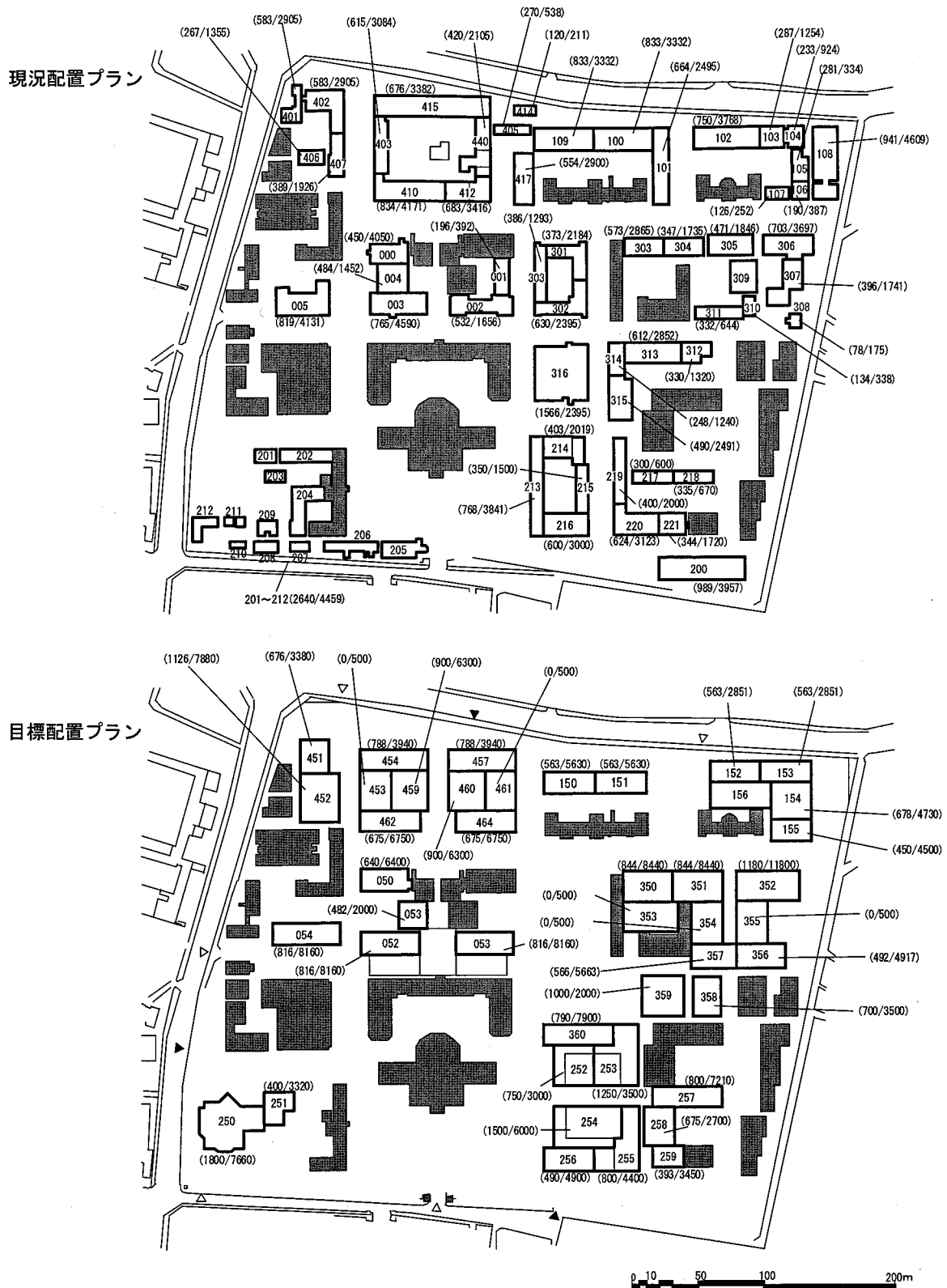
シミュレーションの条件は以下のように設定する。

- 1) ボリュームオブジェクト毎に新築、取壊しを行う。
- 2) 単年度の新築面積は、過去6年間に京都大学で実際に行われた建替工事の平均値より、5,000  $\text{m}^2/\text{年}$ とする（これは京都大学の建替が逐次建替となる重要な要因の一つである）。
- 3) 建替期間は、1998年度～2039年度（目標配置プラン成立時）までの42年間とし、この期間内の建替や取壊しの順序やそのときの外部空間の状態をシミュレーションする。
- 4) 新築する建物の位置と取壊す建物の位置が重なる場合には、新築工事の前に取壊工事期間としてバッファertimeを設ける。

建替期間中（1998～2039年）に、各年の総延床面積をできるだけ大きくすることとは建替期間の総延床面積の総計一式(1)を最大化することであり、また各年の総立面面積をできるだけ小さくすることとは総立面面積の総和一式(2)を最小化することであると定義する（以下、評価尺度となる関数を評価関数と呼ぶ）。

①建替期間の総延床面積  $\sum$  (総延床面積) ……(1)  
(建替期間)

②建替期間の総立面面積  $\sum$  (総立面面積) ……(2)  
(建替期間)

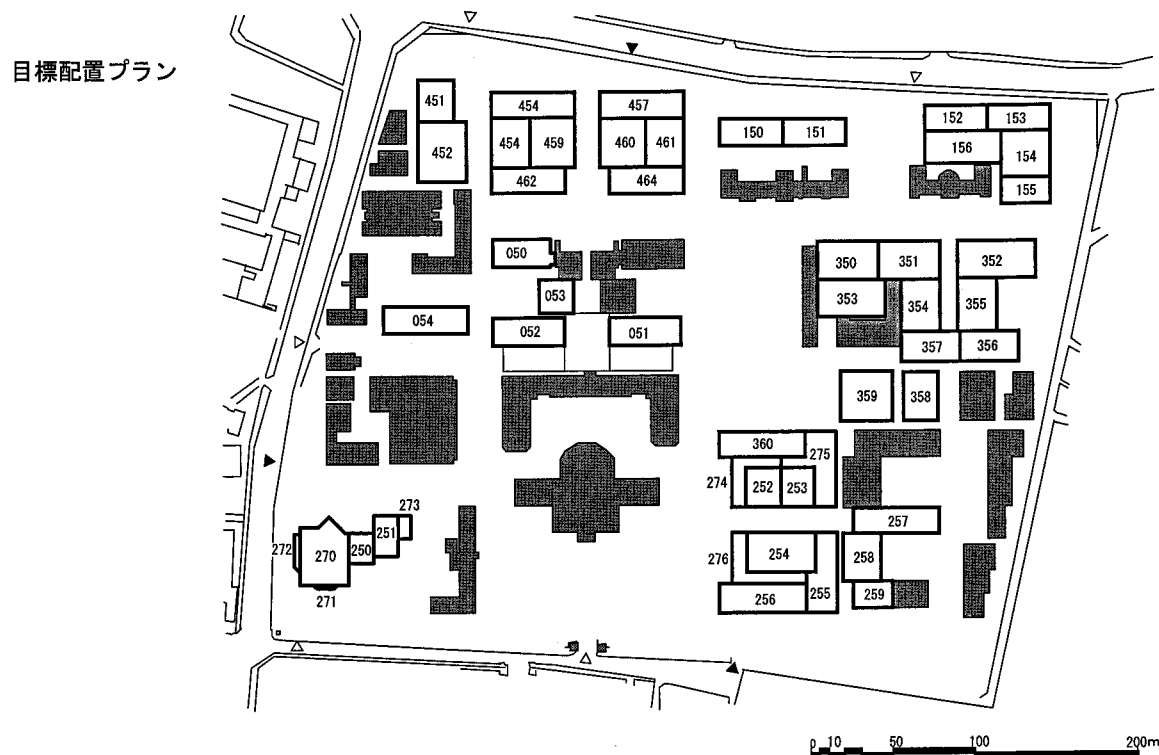
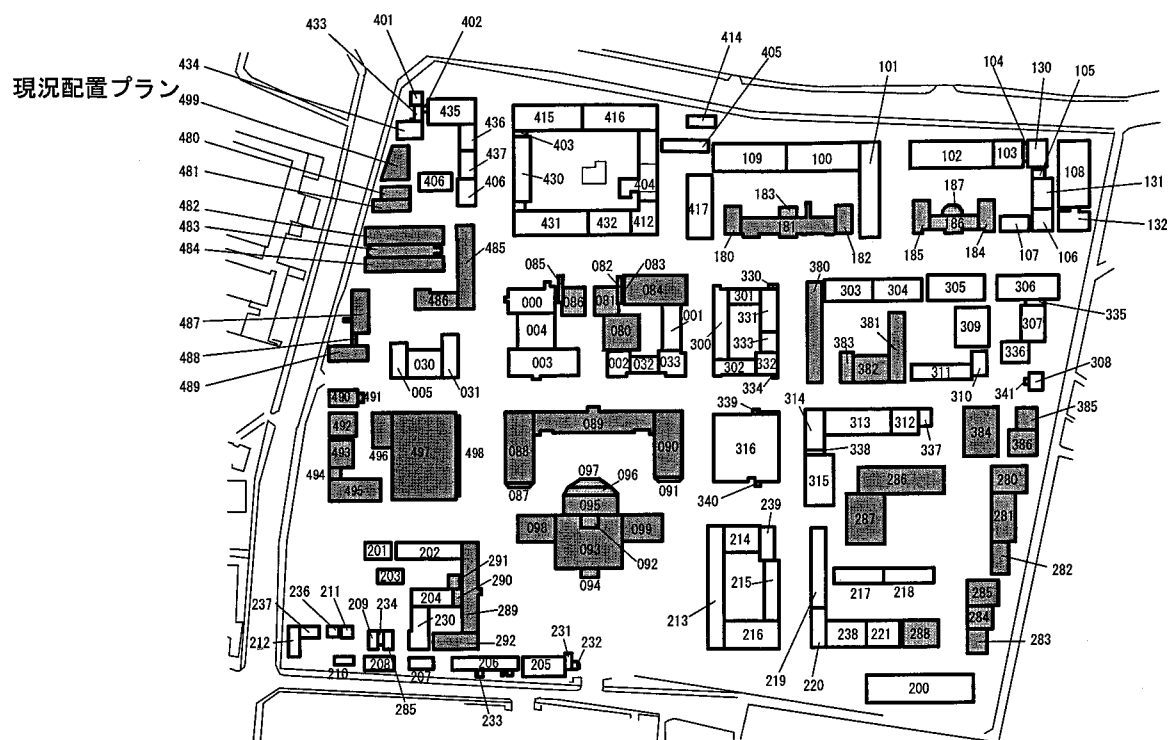


- ・ 目標配置プランの新築建物を延床面積 5000 m<sup>2</sup>程度のボリュームに分割し、これを建替工事を行う単位空間とする。

シミュレーションの対象建物  
シミュレーションの非対象建物

単位空間 ID (建築面積 / 延床面積)

図 6-4 総延床面積算出のための単位空間



・建物を高さや評価基準面からの距離の異なるボリュームごとに細分割した単位空間を設定する

□ シミュレーションの対象建物  
■ シミュレーションの非対象建物

単位空間 1D (建築面積 / 延床面積)

図 6-5 立面面積算出のための単位空間

### 6.3 2つの尺度の評価値を求めるための単位空間の設定

部分となる各年度の配置プランの評価値は、配置プランを構成する単位空間の情報に基づいて総延床面積と総立面面積を算出する必要があるが、それぞれの尺度に対する評価値を求めるためにふさわしい単位空間は異なる。総延床面積を求めるとき、建替期間において建物の取壊しや新築の行われる単位が重要となる。1棟の建物は、段階的な建設や増築によって造られるため、建物を建設年度によって分割した単位を基準として考え、さらに、これに基づいて単年度の予算を考慮して5000 m<sup>2</sup>程度のボリュームとなるようにグループ化、あるいは細分割して調整したものを単位空間として用いる(図6-4)。一方、総立面面積を求めるとき、建物の高さや評価基準面からの距離が重要となる。複数のボリュームが組み合わされた複雑な形態の建物が多く、1棟の建物は高さや評価基準面からの距離の異なる様々なファサードを持っている。このことを考慮して、総立面面積を正しく評価することができるよう、建物を高さや評価基準面からの距離の異なるボリュームごとに細分割した単位空間を用いる(図6-5)。以上のように、それぞれの値を算出するため2通りの単位空間を設定する。

### 6.4 GAを用いた二目的最適化手法

GAがある尺度に対して優秀な解を条件充足的に求めるのに有効であることは、既に第2章、第3章で示したが、2つ尺度を同時に高いレベルで満たす解の集合を求めようとするとき、パレート最適解集合<sup>文献11)</sup>を求めることになる。

GAのオペレーションでは、次世代に引き継ぐ個体の選択を、各個体の優劣関係に基づいて行う必要があり、本来、トレードオフの関係にあって優劣をつけられない個体に対しても何らかの方法で順位付けを行う必要がある。本章では、ランキング選択を用いることでパレート最適解集合を求め、これを候補解集合として位置付ける。ランキング選択とは、優越関係に基づいて定められるランクを利用して選択を行う方法で、個体 $X_i$ が $n_i$ 個の個体に優越されているとき $X_i$ のランク $r(X_i)$ を式③の様に定める。

$$\textcircled{3} X_i \text{ のランク } r(X_i) = 1 + n_i \quad \cdots (3)$$

このランク $r(X_i)$ の値を各個体の適応度として、エリート戦略により適応度の値の優秀な個体を次世代に継承させる。パレート最適解(パレート最適解集合の中で、他に優越されない個体)のランク $r(X_i)$ は1であり、その集合がパレート最適解集合となる(図6-6)。



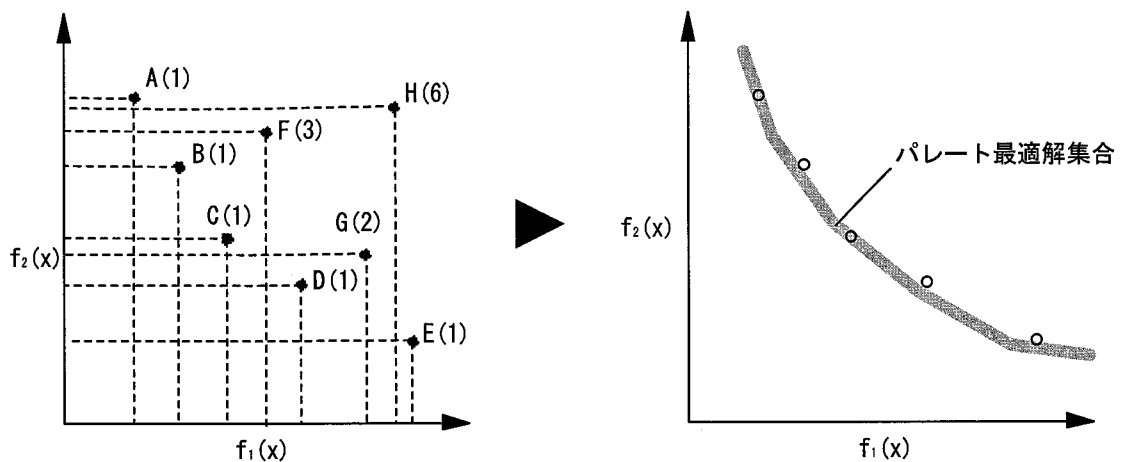


図 6-6 二目的最適化手法におけるランキング法とパレート最適解集合

## 6.5 二目的最適化による建替計画（シミュレーション1）

ここでは、総延床面積、総立面面積のそれぞれ単目的最適化（評価関数①、②）による建替計画と、総延床面積と総立面面積を評価尺度とした二目的最適化（適応度関数③）による建替計画を求め、これら3パターンの目標配置プランへ到達する過程の比較を通じて二目的最適化の有効性および建替期間中の配置プランの分析を行う。

### 6.5.1 コード化

まずシミュレーション対象建物を新築建物と取壊建物に分類し、新築建物48棟について新築の順序を染色体としてコード化する。建替対象では建替期間中にできるだけ総延床面積を大きく保持することが求められており、取壊建物はできるだけ遅く取壊すことが望ましいが、取壊建物が新築建物に平面上で重なるときには、新築建物の工事期間（新築面積5,000 m<sup>2</sup>以下-1年、5,000 m<sup>2</sup>を超える建物-2年）を確保できる範囲で最も遅い年度に取壊を行うように設定する。また、新築建物と重ならない場合は目標配置プランが成立する2038年度に取壊年度を設定する。

各遺伝子座には建替順序を示す0～47の整数を格納する。この数字の小さい順に新築を行う。この順序と毎年の新築面積が5,000 m<sup>2</sup>という条件より各新築建物の新築年度を決定する。

新築順序  $i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, 48$ ) の建物の新築年度  $y_i$  は

$$y_i = (\sum_{k=1, i} S_k) / 5000 + 1998$$

となる。これは、新築面積が5000 m<sup>2</sup>に収まる分はその年度に新築を行い、その建物に割り当てら

れたその年度の新築面積が延床面積に達しない場合には、工事を次年度に繰り越して行うことを示す。

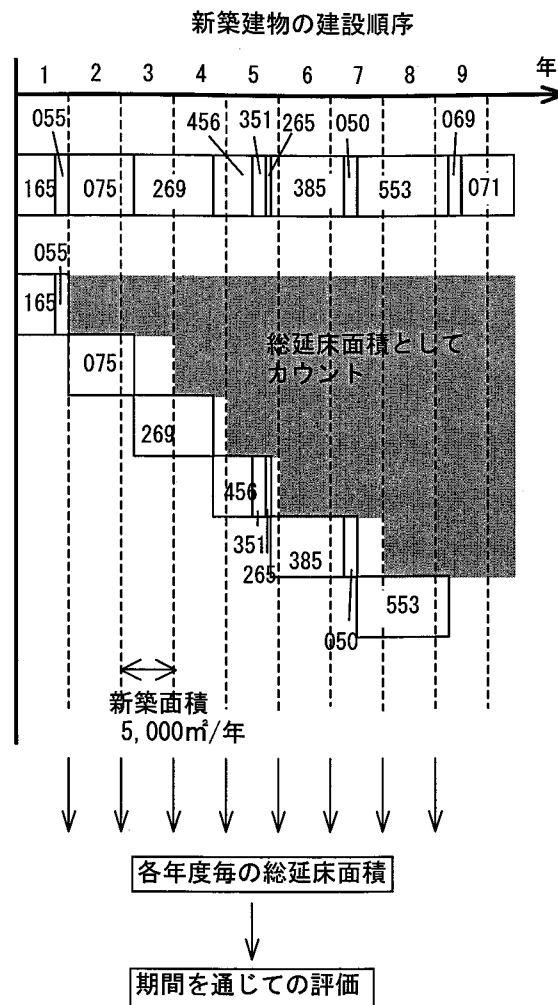


図6-7 新築順序のコード化

### 6.5.2 結果

①、②の評価関数によって導かれた評価値の分布を図6-8に示す。GAを適用する際の初期集団数、突然変異率、交叉率などの設定により局所解に収束した場合もあったが、様々なパラメータの試行錯誤の結果得られたものである。その解の分布と評価値の推移から、図中のパレート最適性を持つ解の集合はパレート最適解集合と見做して良いと考えられる。

それぞれの解の評価関数①、②に対する評価値をプロットする事により「パレート最適解集合」Pが得られ、計画対象の建替スケジュールを変化させることによって生じる評価値の範囲が明らかになった。計画者はこの評価値の範囲を、計画対象の評価値の目標値を設定するための目安とすることができる。

①、②を評価関数とした単目的最適化により得られた建替スケジュールの解A、Bと、③を目的関数とした二目的最適化により得られた解Cのそれぞれの総延床面積・総立面面積の評価値の推移、および建替を行った時の2018年度のそれぞれの配置プランを図6-9、図6-10に示す。解A、Bの評価値の推移を比較すると、両評価指標の間にトレードオフの関係がはっきりと見られる。

解A、Cの総延床面積の建替期間の年変化率を解Bと比較すると、解Aでは $21,128.2 \text{ m}^2/\text{年}$ 、解Cでは $14,983.4 \text{ m}^2/\text{年}$ だけ大きくなっている。解A、Cは解Bよりも多くの延床面積を建替期間中に利用することができる建替計画であるといえる。また総立面面積についても、解Aの総立面面積の期間中の年変化率を基準として、年平均で解Bは $10,823.7 \text{ m}^2/\text{m} \cdot \text{年}$ 、解Cは $8,342.7 \text{ m}^2/\text{m} \cdot \text{年}$ だけ改善された建替スケジュールが得られた。これらは解Aの総立面面積の建替期間平均( $51,809.3 \text{ m}^2/\text{m} \cdot \text{年}$ )のそれぞれ20.9%、16.1%に相当する。解Cの推移は、総延床面積では解Aに、総立面面積では解Bに近い推移となっており、解Aと解Bの特徴を合わせ持つ解であることがわかる。

解A、B、Cの総立面面積の推移過程において、大きく増加・減少している年度がある。各評価値

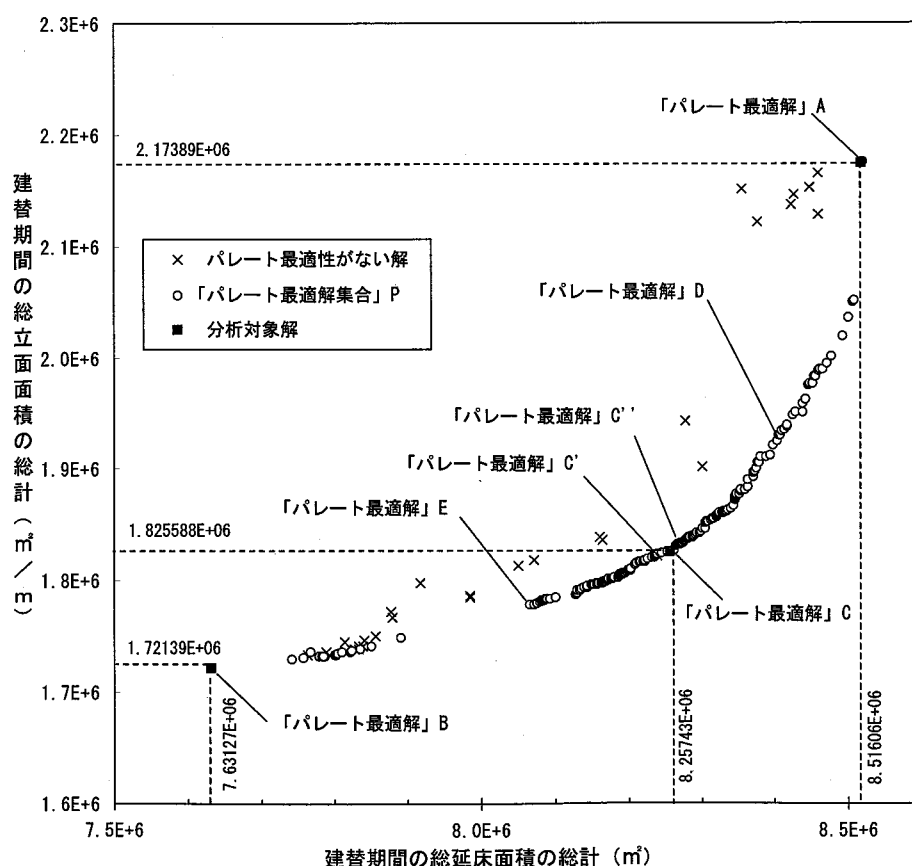


図6-8 建替期間における総延床面積・総立面面積パレート最適解集合

の推移と各年度の新築・取壊が行われる建物とを対応させることより、新築建物イ～ハ、取壊建物ニ～ヘがその変化に大きく影響を与えていると考えられる(図6-10)。これらの建物の新築・取壊年度を分析すると(図6-11～15)、総延床面積最大化ではこれらの建物が初期段階において新築されることで総立面面積が増加し、外部空間の圧迫感の大きい状態で建替期間中推移する傾向が見られる。解A、C、Bの順に、総立面面積の増加要因となっている建物を早く取壊し、遅く新築する建替スケジュールとなっている。総立面面積最小化では、総立面面積の増加の要因となっているこれらの建物を早い時期に取壊し、できるだけ遅い時期に新築を行うことによって建替期間中の外部空間の圧迫感を減少させるスケジュールが得られている。このような結果は建替スケジュールの見直しを行う場合、総立面面積の大幅な増加をもたらす新築建物を重点的に変更することが、外部空間

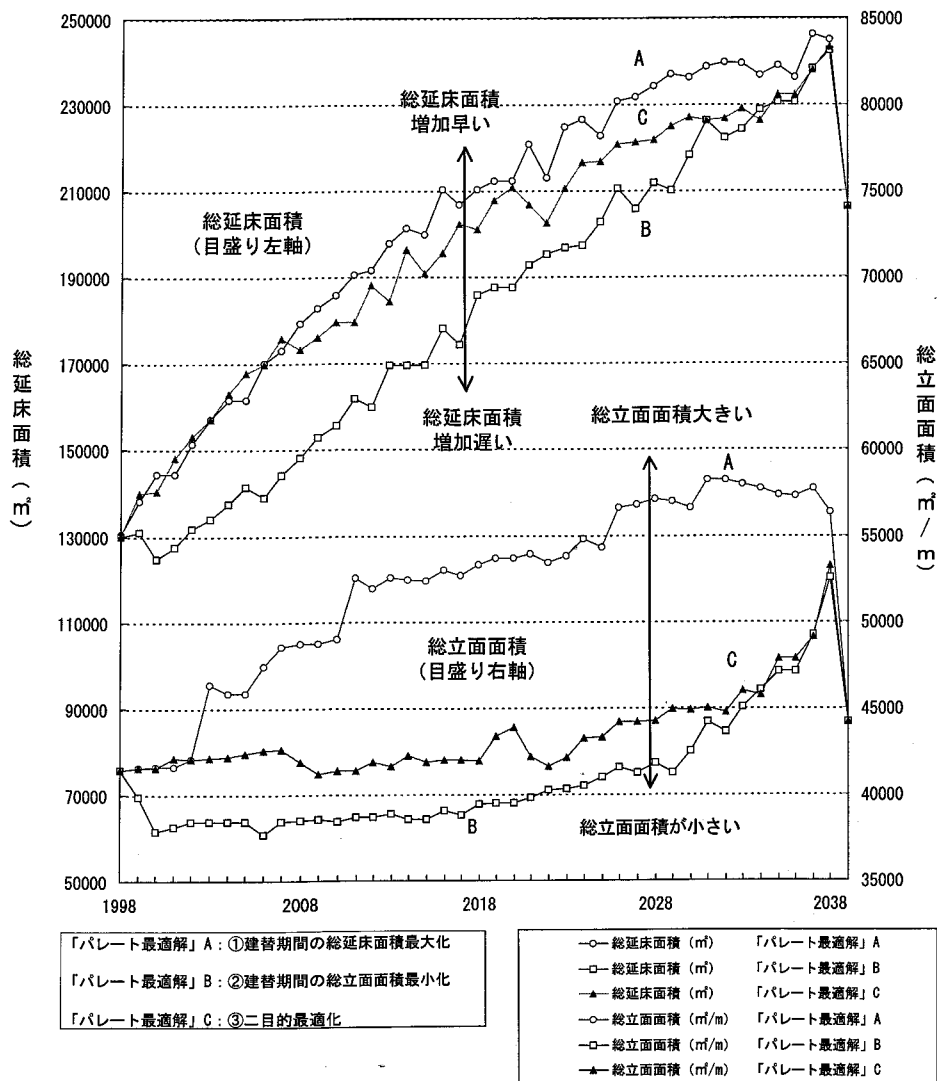
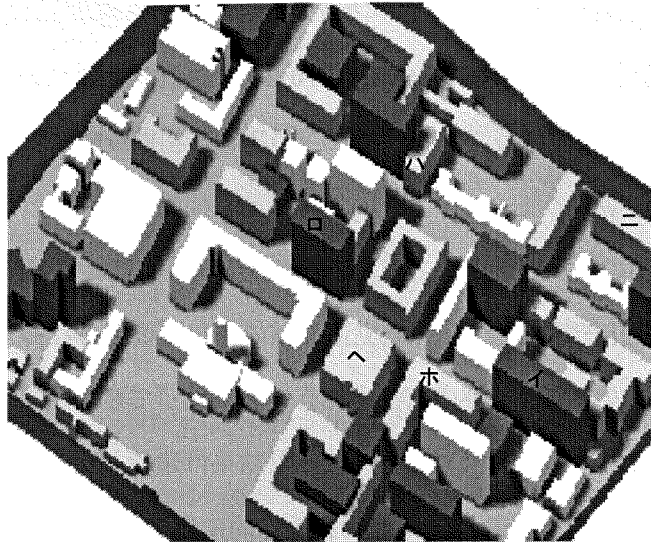
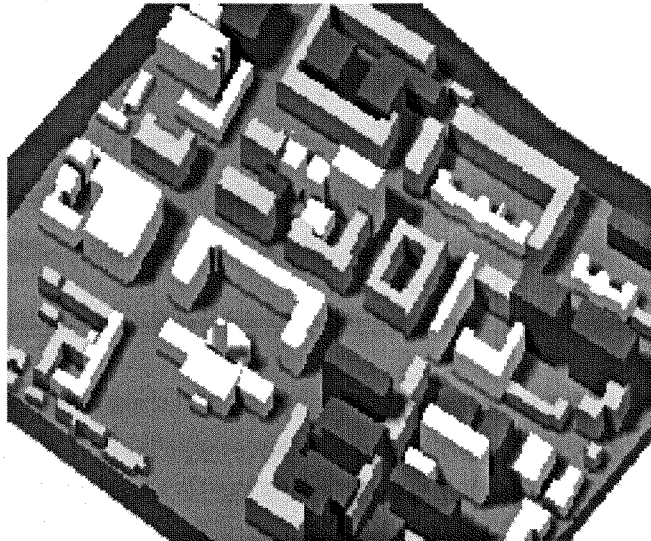


図 6-9 ①総延床面積最大化、②「立面面積」最小化、③二目的最適化により得られた解 A、B、C の建替計画の評価値の推移



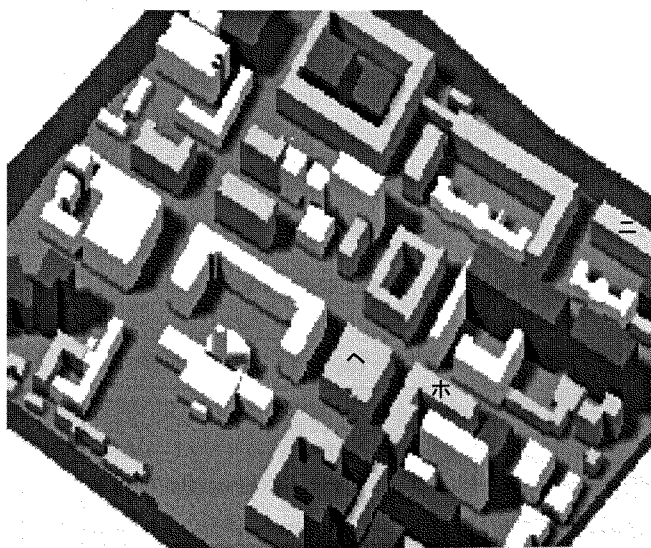
A 総延床面積  
210,204 m<sup>2</sup>

総立面面積  
53296.0 m<sup>2</sup>/m



B 総延床面積  
185,775 m<sup>2</sup>

総立面面積  
39422.6 m<sup>2</sup>/m



C 総延床面積  
200,960 m<sup>2</sup>

総立面面積  
41917.1 m<sup>2</sup>/m

シミュレーション非対象建物  
取壊建物  
新築建物

図6-8 解A、B、Cの2018年度の配置プラン

表 6-2 「パレート最適解」C、C'、C'' における総

[illegible]

の圧迫感の改善に効果的であることを示している。

解Cの近傍に分布する解として解C'、C''を選択し、総立面面積の増加要因となっている建物の新築年度、取壊年度を比較した結果を表6-2に示す。各建物が当該年度に存在するかどうかを表しており、それぞれの新築年度、取壊年度は類似している点が多いことがわかる。評価値が連続して分布する建替計画案は、総立面面積の増加に大きな影響を及ぼす建物の新築、取壊のスケジュールも類似していると言える。

建替計画の検討を行う場合、パレート最適解集合をなすと見なすことのできる解に対して、建替期間中の総延床面積と総立面面積の推移に加えて、図 6-10 および図 6-11 から図 6-15 のような可視化された配置プランを用いて解の選択を決定することは、計画の外部空間の状態を確認する上で有効である。

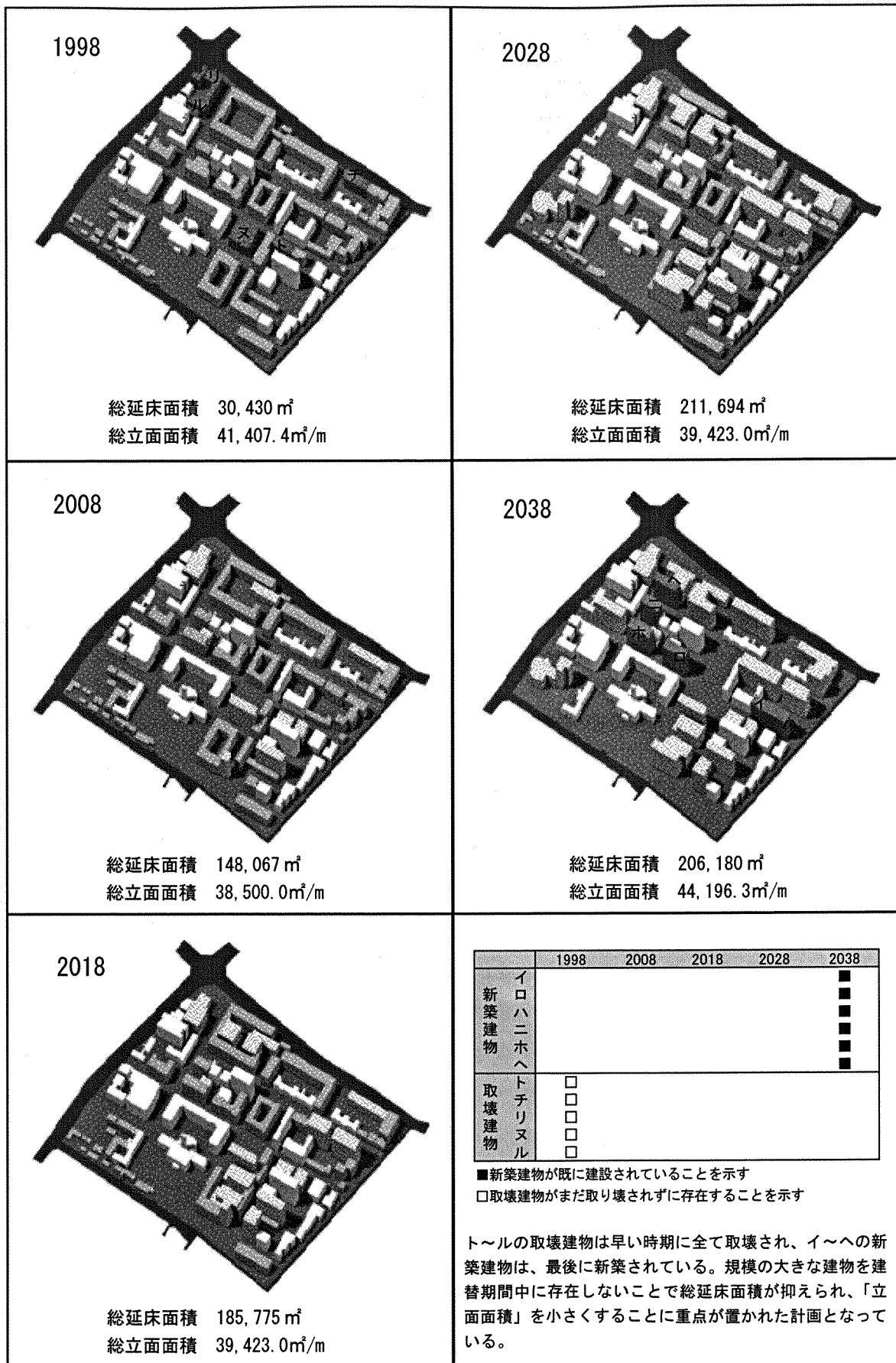


図 6-11 「パレート最適解」Bにおける配置プランの変遷

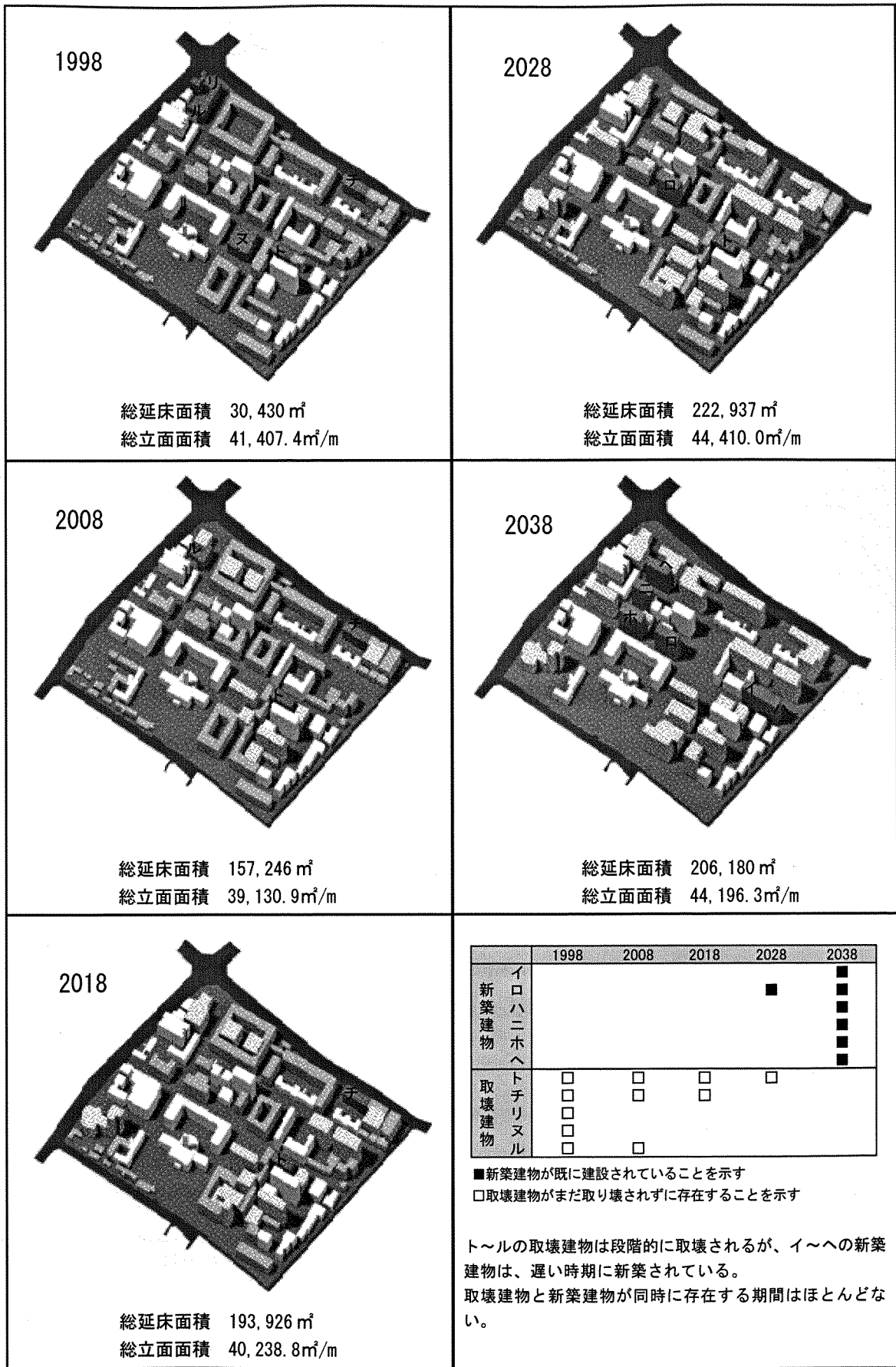


図 6-12 「パレート最適解」E における配置プランの変遷



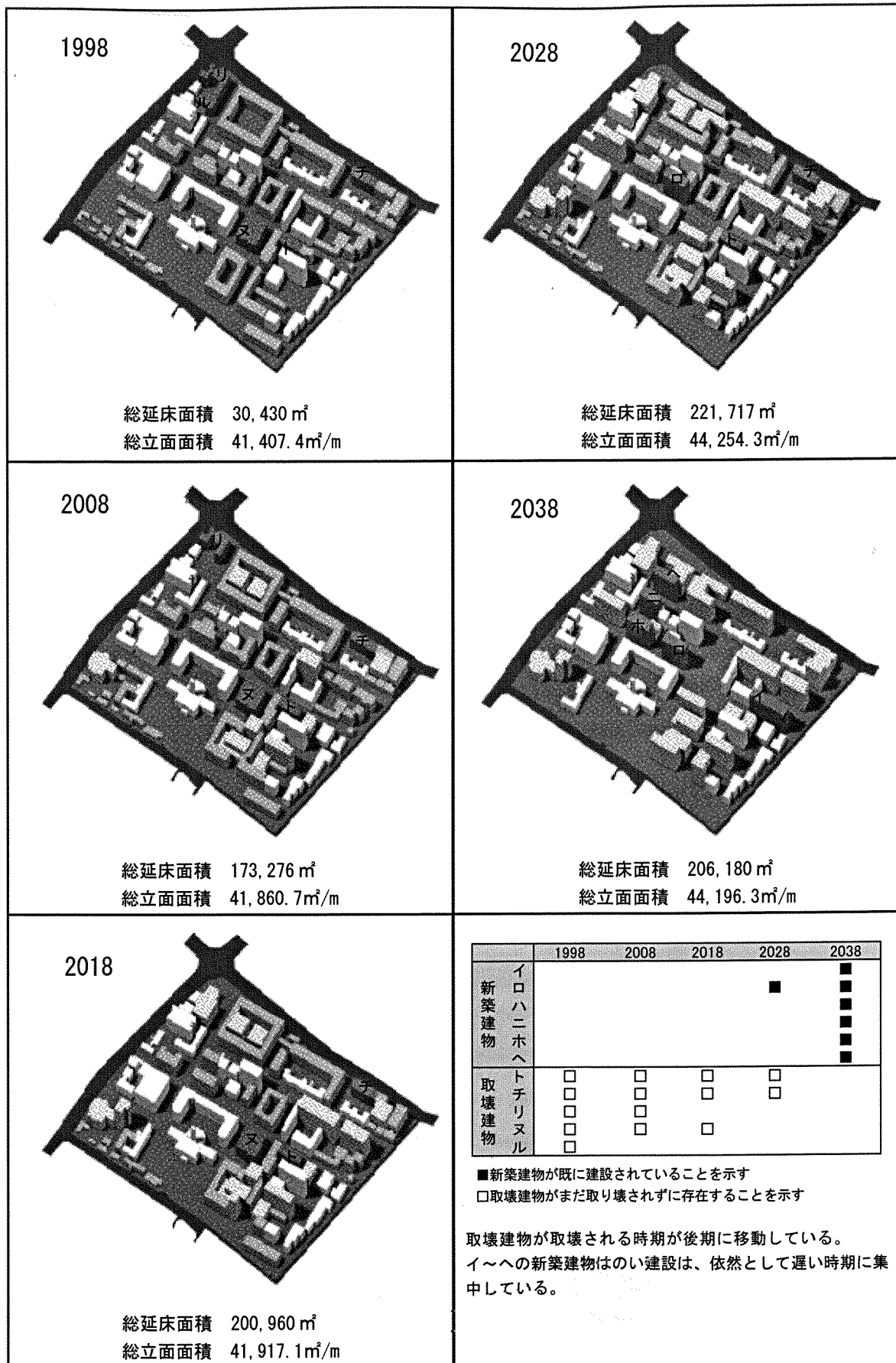


図 6-13 「パレート最適解」Cにおける配置プランの変遷

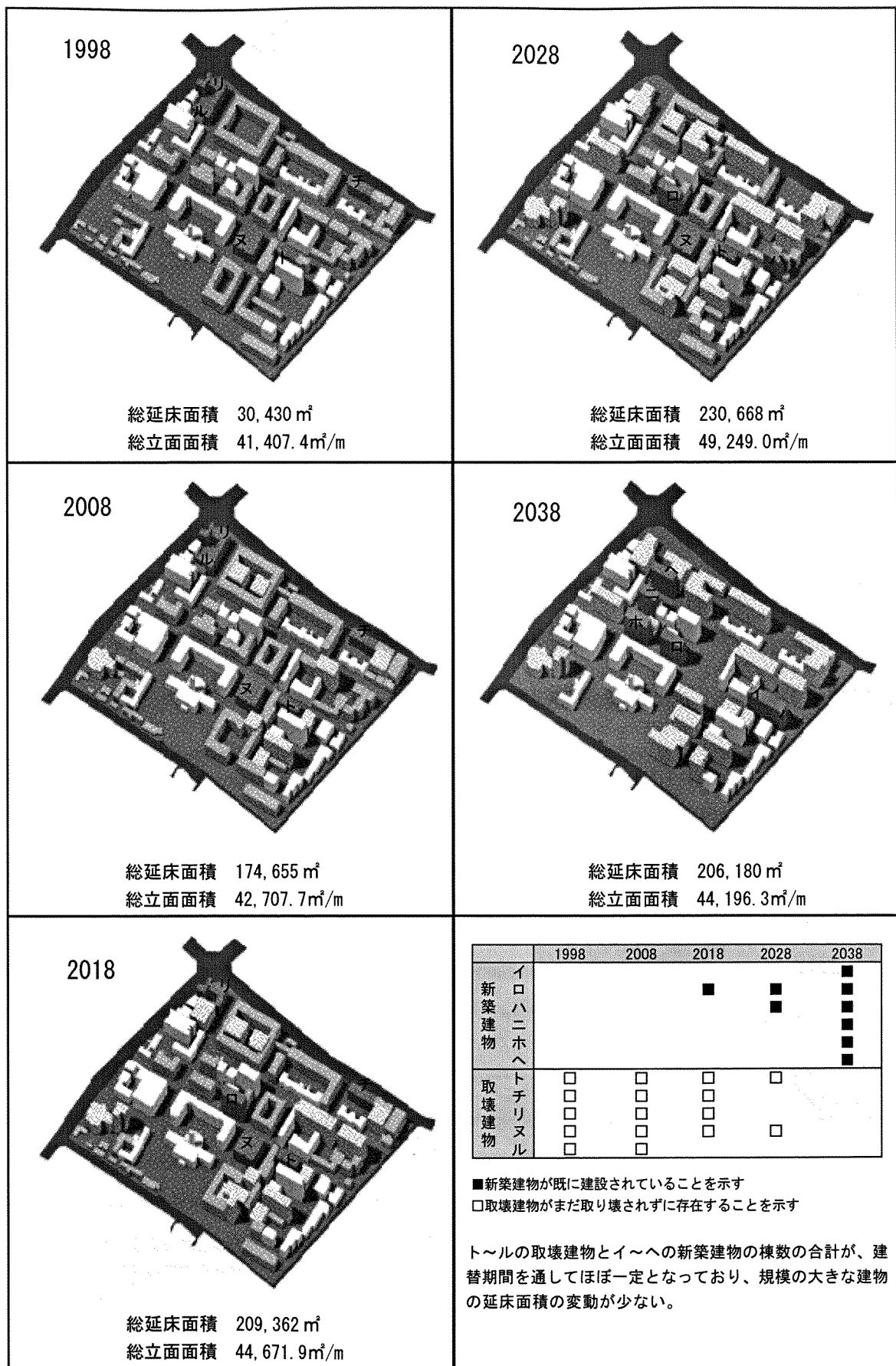


図6-14 「パレート最適解」Dにおける配置プランの変遷

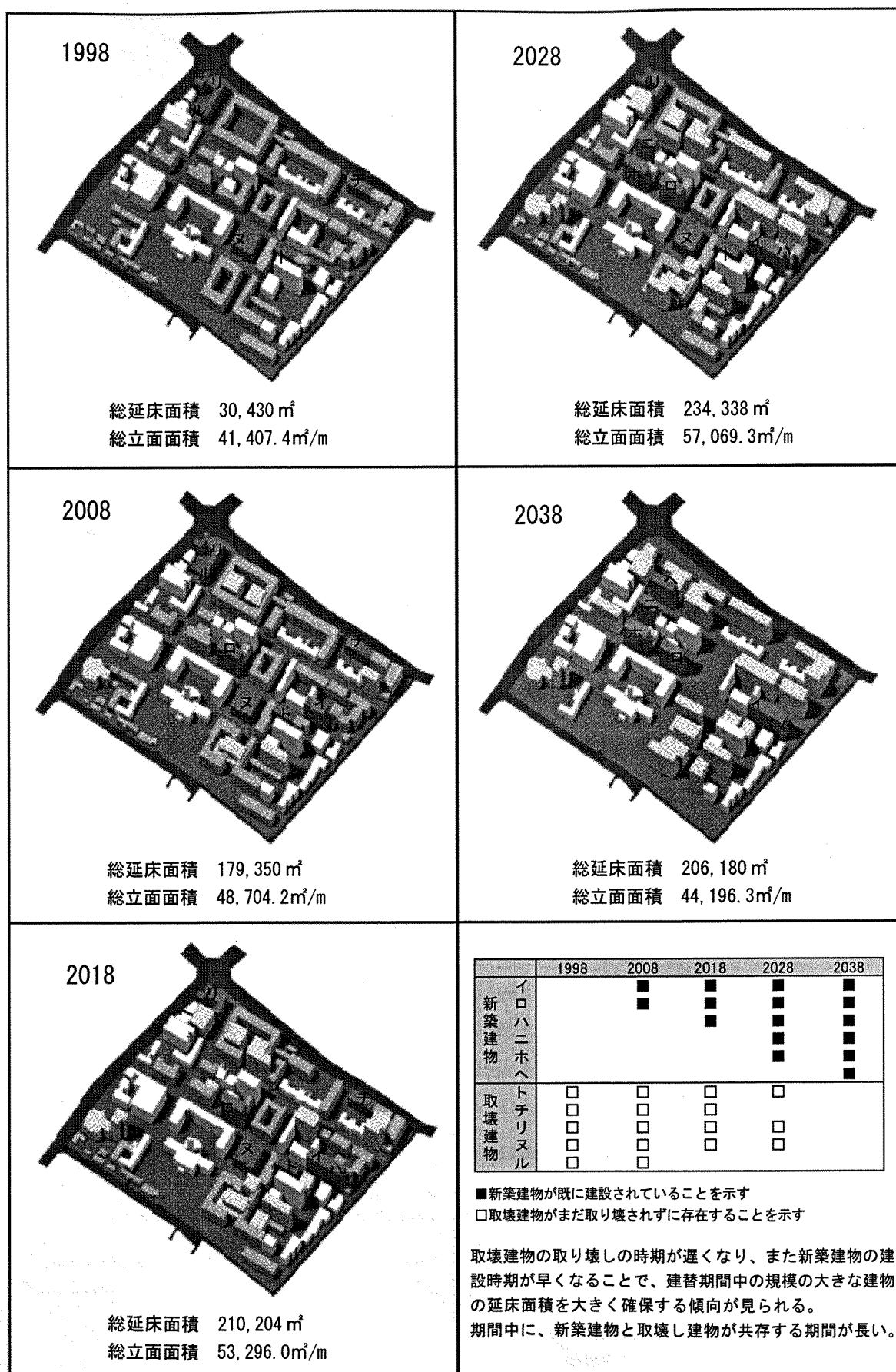


図 6-15 「パレート最適解」Aにおける配置プランの変遷

## 6.6 目標配置プランの補整を考慮した建替計画（シミュレーション2）

目標配置プランはあくまで方向性を示すものとして位置付けることが望ましく、厳格に守ろうとすると計画の情勢が変化したときに柔軟に対処することができない。建替途中の配置プランの評価に基づいて目標配置プラン自体の見直しを行うことで、より優秀な配置計画が実現できると考えられる。本章では、目標配置プランの基本的な計画指針は維持されるべきであると考え、建物のおおよその配置は保持した上で、新築建物の階数の変更とそれに伴う平面形状の長辺・短辺の長さやその比率の補整を行うことのできるモデルを設定する。建替期間中の配置プランの評価を考慮しない場合と、それを考慮する場合の目標配置プランの補正方法をそれぞれ求め、その傾向を比較する。

### 6.6.1 コード化

各建物に対し、延床面積は維持した状態で階数の変更とそれに伴う平面形状の相似変形を形状の補整と定義する。平面形状の相似変形の基準点は各新築建物毎に図6-10のように設定する。目標配置プラン成立時（2039年度）における目標配置プランの総立面面積を目的関数として最適解をGAを用いて探索する。

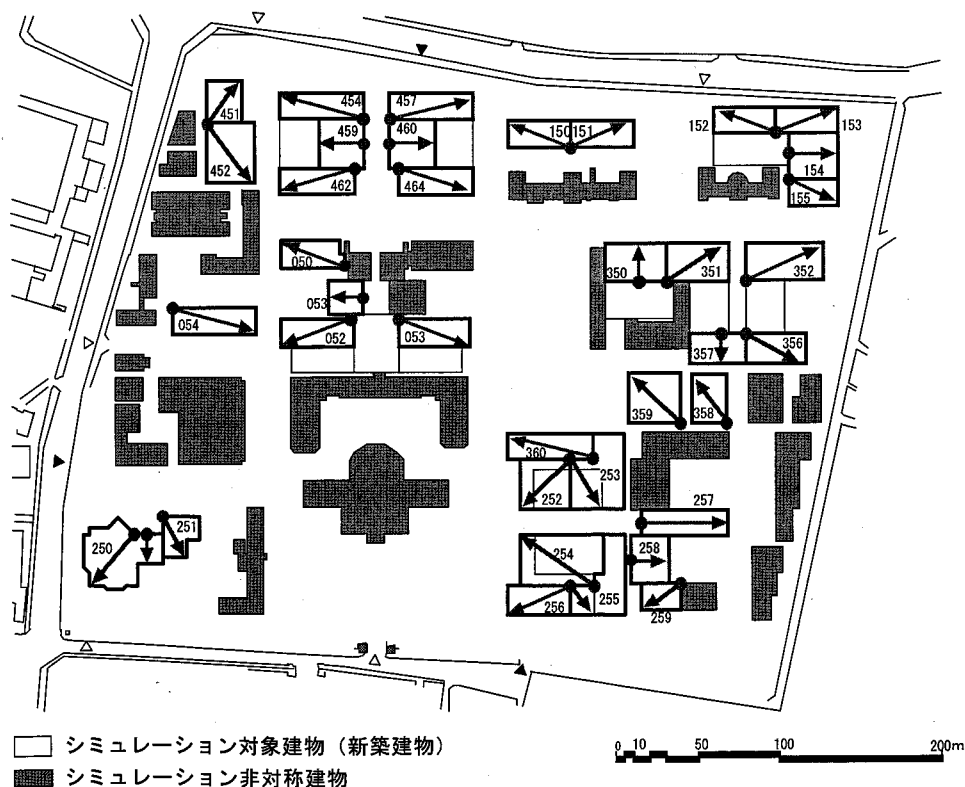


図6-16 目標プラン建物の階数補整に伴う平面形状相似変形の基準点

目標配置プランの44棟の新築建物について階数補整を行う際、各新築建物の補整される階数を遺伝子情報化する。階数変更は「二層分高く補整する」「一層分高く補整する」「変更しない」「一層分低く補整する」「二層分低く補整する」までの5パターンの補整に限定して考察する。染色体は、図6-17に示すように遺伝子の長さは92で、新築建物の新築順序を決定する48個の遺伝子座と目標配置プラン補整方法を決定する44個の遺伝子座よりなる。

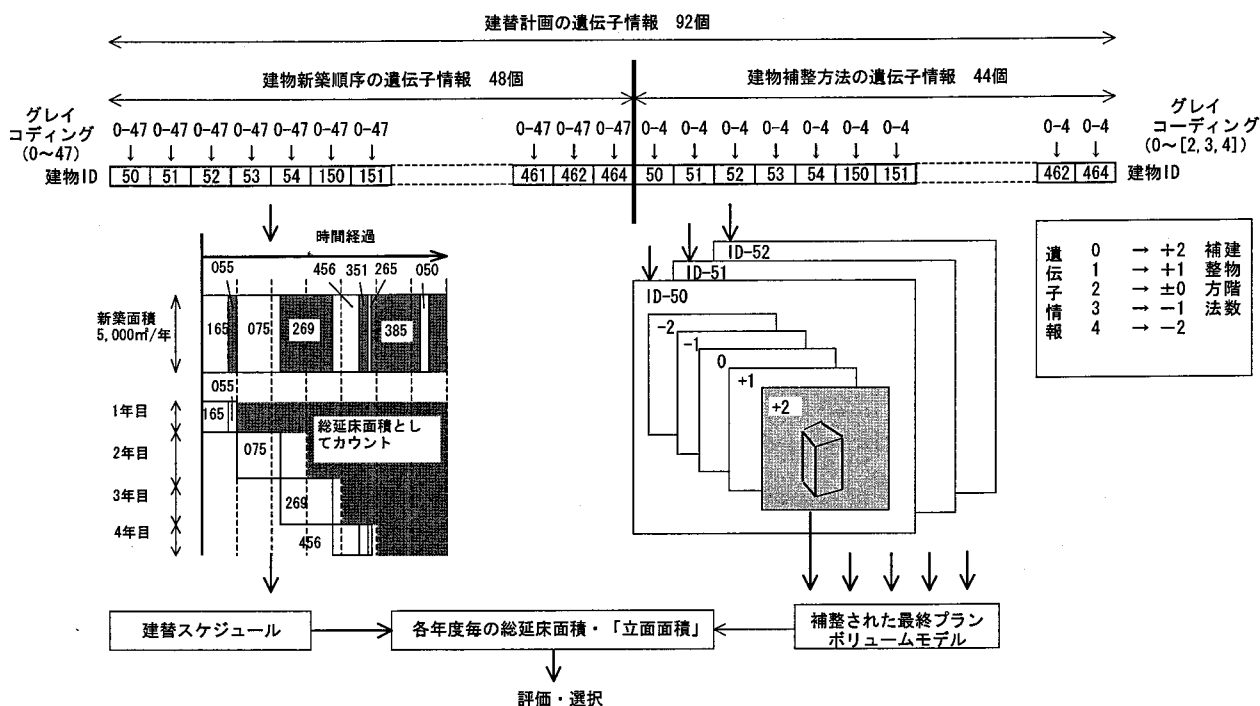


図6-17 建替計画のコード化

## 6.6.2 結果

まず、建替期間中の配置プランの評価は行わずに、目標配置プランの補整のみを行う。GAを適用した結果、最適に補整された目標配置プランを得ることができた(図6-18、図6-19)。目標配置プランの補整により、総立面面積が補整前の44,196.6  $\text{m}^2/\text{m}$ に比べ、38,946.9  $\text{m}^2/\text{m}$ と11.9%改善された。この改善された総立面面積の値(5,249.7  $\text{m}^2/\text{m}$ )は、道路から10m離れた幅16m、8階建ての建物の有無による圧迫感の指標の差に相当する。階数補整とそれに伴う平面形状の相似変形という限られた最適化モデルではあるが、圧迫感が改善された目標配置プランが得られたと言える。図6-19の補整前後のボリュームモデルを比較すると、目標配置プランの階数補整を行うことにより総立面面積の増加の要因となっていると予想された新築建物イ～ヘなどの道路状空間に近い距離

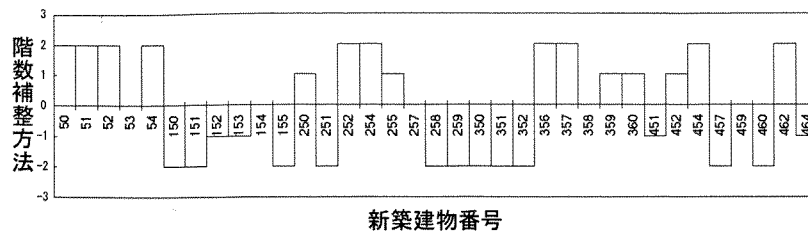


図 6-18 階数補正の最適化によって得られた各建物の解の増減

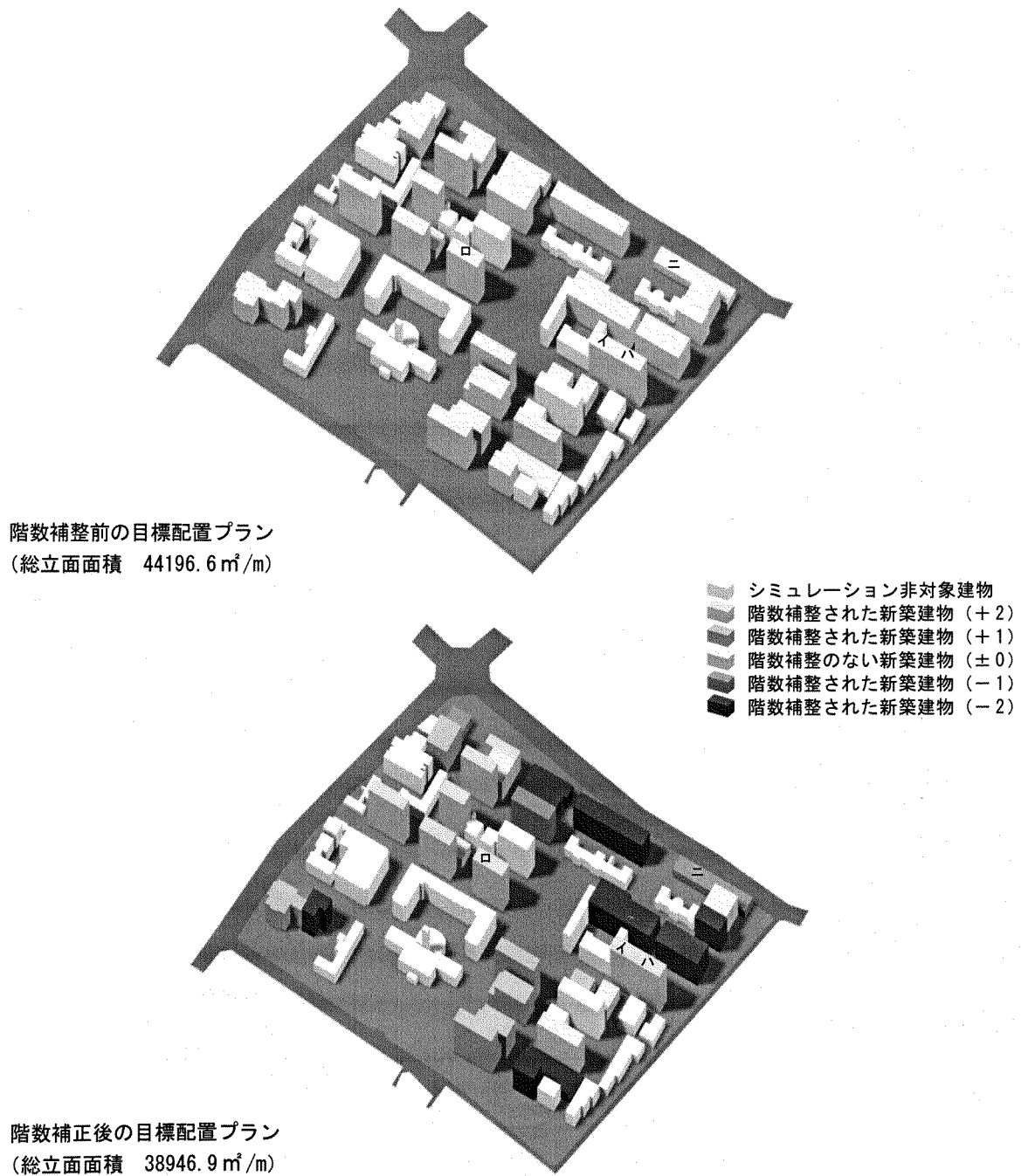


図 6-19 階数補正前後の目標配置プラン

にある建物がセットバックすることによって、評価基準面に対してより圧迫感が少なくなっている。評価基準面より距離のある建物や道路空間に面する面積が少ない建物は階数が減り基準面への投影立面面積も小さくなる。

次に、単に定静的な目標配置プランのみを補整するのではなく、建替期間中の配置プランの評価にとっても好ましい目標配置プランの補整を探索する。②の評価関数に従って総立面面積最小解の探索を行った結果、 $1.671403 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{m}$ の評価値を持つパレート最適解を発見した。③の目的関数により二目的最適解探索を行ったとき、「パレート最適解集合」Q（以下、解集合Q）が得られた。前節で得られた「パレート最適解集合」P（以下、解集合P）と共に解集合Qの評価関数①、②に対する評価値の分布を図6-20に示す。解集合Qは解集合Pに較べて、目的関数①、②の両方に対して優れた評価値を持ち、より優れた解の探索が行われたと言える。

ここで、解集合Pの解A、B、Cと、①、②のそれぞれの評価関数に対して同程度の評価値を持つ解集合Qの解D、E、F、Gを選択し比較してみる。解A、Dおよび解C、Fは同程度の総延床面積を持つが、総立面面積の平均値はそれぞれ $6,100.8 \text{ m}^2/\text{m} \cdot \text{年}$ 、 $1,042.6 \text{ m}^2/\text{m} \cdot \text{年}$ だけ改善されている。

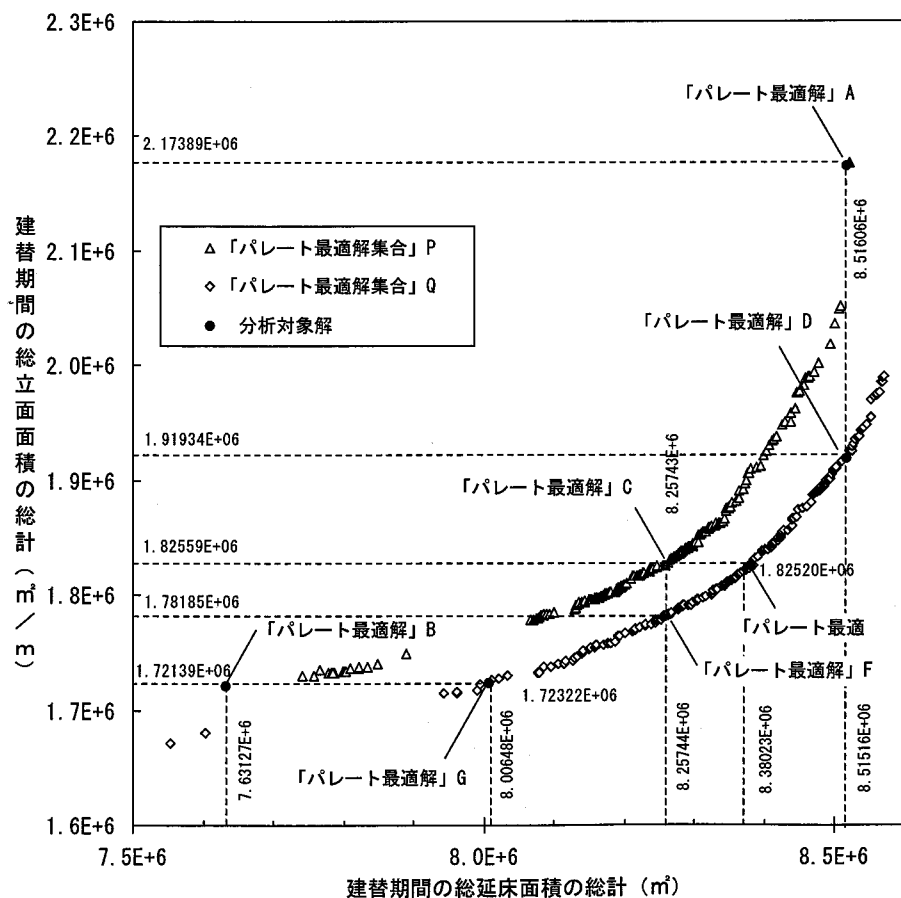


図6-20 目標配置プランの補正を考慮した総延床面積・総立面面積のパレート最適解集合

解A、Dの評価値の推移を図6-21に示す。同様の総延床面積の値を建替期間中に確保しながらも、総立面面積は小さい値で推移しており、外部空間の圧迫感の少ない建替計画が得られた。解B、Gおよび解C、Eは同程度の総立面面積の総計を持つが、総延床面積の平均値がそれぞれ8,933.6 m<sup>2</sup>/年、2923.8 m<sup>2</sup>/年だけ増加している。目標配置プランの外形形状を補整することによって、外部空間の圧迫感を増加させることなく、総延床面積が早く増加する建替計画が得られた。総立面面積の増加量は、解D、解Fでは解A、解Cに較べて小さくなっていることも分かる。また、6.5.2で総立面面積の増加要因になっていると指摘した新築建物(イ～ヘ)については、図6-22から階数を低くする補整がなされていることが分かる。つまり、これらの新築建物の新築時に総立面面積の値を大きく増加をさせない建替計画の探索が行われたことを示している。

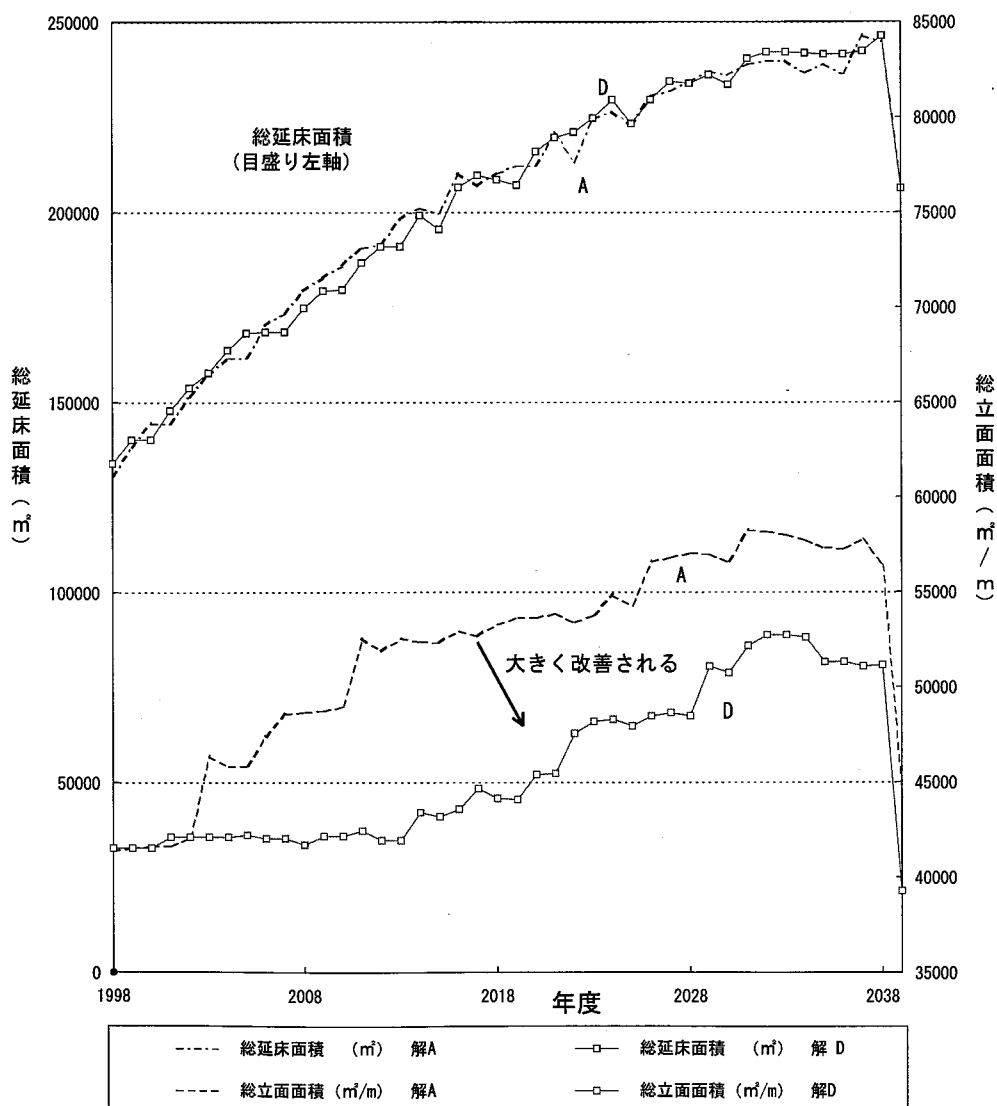


図6-21 解A、Dの評価値の推移



「パレート最適解」A (2018年度)

総延床面積 210204 m<sup>2</sup>

総立面面積 53296.0 m<sup>2</sup>/m



- シミュレーション非対象建物
- 階数補整された新築建物 (+2)
- 階数補整された新築建物 (+1)
- 階数補整のない新築建物 (±0)
- 階数補整された新築建物 (-1)
- 階数補整された新築建物 (-2)

「パレート最適解」D (2018年度)

総延床面積 208407 m<sup>2</sup>

総立面面積 44120.9 m<sup>2</sup>/m

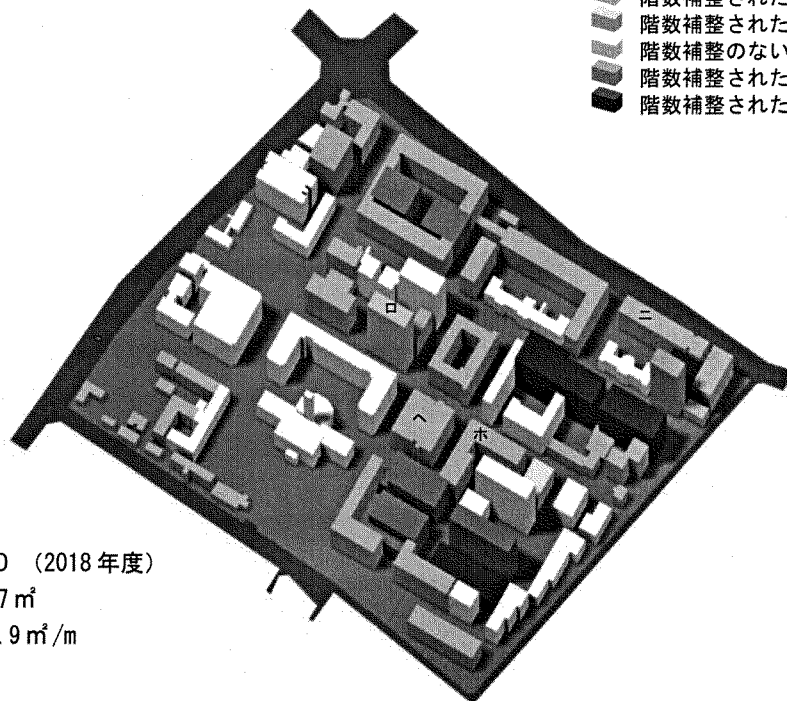


図6-22 「パレート最適解」A、Dの建替計画による2018年の配置プラン

## 6.7 建替期間中における目標の変更を考慮した建替計画（シミュレーション3）

図6-21の建替スケジュールにおいて、初期段階では狭隘が著しく、総延床面積を増加させることが重要課題とされるが、2015年頃を境として目標配置プランの総延床面積に対して延床面積の過剰供給が生じている。この場合、総延床面積増大の命題は、総延床面積維持へと目的を緩やかなものへと変更することで、他の満たされていない条件をより重視することが適切であると考えられ

る。将来的に現状では予測できない要求が最優先するものとして発生することも十分に可能性があり、はじめに設定した計画の目標が必ずしも不変ではない場合の考察を試みる。

### 6.7.1 目標の変更方法

建替計画の新たな目標として、新しい評価尺度を導入するのではなく、総延床面積と総立面面積の重み付けによって変化した目標を設定する。ここでは、延床面積の過剰供給が問題となるため、「今後20年間（1998～2017年度）、総延床面積をできるだけ確保し、その後は総延床面積を200,000 m<sup>2</sup>以上確保しながら、総立面面積を最小化する」という目標を設定する。これは、一方の評価尺度が満たすべき基準値が明確に定義されているときの二目的最適化であり、現実的な状況を想定した建替スケジュールを導くことができると考えられる。

2018年度以降に総延床面積を200,000 m<sup>2</sup>以上確保するという条件を満たすために、各年度の総延床面積で200,000 m<sup>2</sup>に満たなかった面積を不足面積と定義し、これを目的関数において評価する。期間Ⅰ（1998～2017年度）、期間Ⅱ（2018～2039年度）に対して、評価関数を以下の式として定義する。

$$\sum_{\text{(期間Ⅱ)}} (\text{「立面面積」}) - \sum_{\text{(期間Ⅱ)}} (\text{総延床面積}) + 100 \cdot \sum_{\text{(期間Ⅰ)}} (\text{不足面積})$$

コード化に際し、期間Ⅰが終了した後は、敷地が重なる新築建物の新築年度に左右されずに建物が取壊されることも考慮する。問題をより現実のモデルに近づける為に、取壊建物の取壊年度についても染色体としてコード化する。

### 6.7.2 結果

探索の結果、最小値を持つと見做すことのできる解Hを得た。図6-22に解Hの評価値の推移を示す。解Hによる建替計画では2017年度まで総立面面積は悪化するものの、総延床面積の推移は、建替期間の総延床面積最大化により得られた解Aに近い増加をしている。一方、2018年以降は総立面面積が徐々に減少しながら開発が進んでおり要求条件に応じた建替計画の解が得られた。

このように、要求条件に対して適切な評価関数を設定して解を得る手法は、建替計画の初期段階において将来のビジョンが不確定な場合に、建替期間の途中において目標の見直しを行いながら、協調的に建替を行うための計画手法へと展開することも可能である。

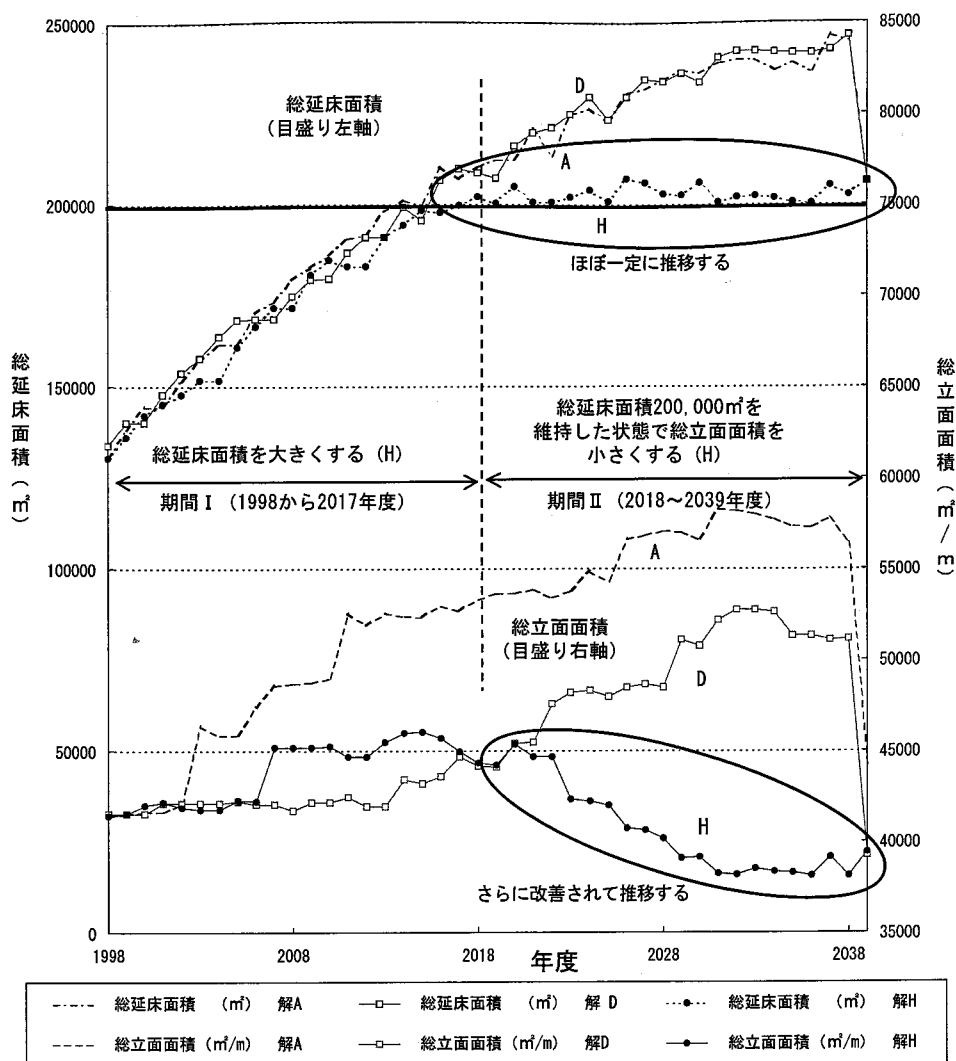


図 6-22 解 A、D、H の評価値の推移

## 6.8 まとめ

シミュレーション1では、大学キャンパスの逐次建替計画を対象として、総延床面積の最大化と総立面面積の最小化という、2つのトレードオフの関係にある評価尺度を用いて、GAによる二目的最適化を行った。その結果、設定した2つの評価尺度に対して建替スケジュールのパレート最適解集合が得られ、総延床面積を出来るだけ大きく確保しながらも「容積率が増加することによって外部環境が悪化する」という一般的な状況を緩和したバランスの取れた建替計画を得ることに成功した。

シミュレーション2では、目標配置プランの建物形状の補整をモデル化の要素に加えて改めて建替計画の解の探索を行った。目標配置プランの外形形状の補整の条件は、新築建物の階数補整とそれに伴う平面の相似変形に限定して行ったが、目標配置プランの補整を行うことによって、建替計

画の二目的最適化問題に対する「パレート最適解」の分布をより優れた代替案の集合へと変化させ、さらに優秀な建替計画を導くことができた。また、解の分析から総立面面積の増加要因の建物を重点的に補整することが有効であることを示した。

シミュレーション3では、総延床面積の過剰供給を調整することで、総立面面積をより低減させることのできる建替計画を獲得し、二目的最適化におけるそれぞれの評価尺度に対する目標値を定めることによって、計画目標を適応させることの有効性を示した。

獲得されたパレート最適解集合によって、評価値の範囲が明らかになったわけだが、この中から具体的な建替計画を決定するためにはさらに範囲を絞り込み選択を行わなくてはならない。シミュレーションによって示される解の範囲と計画者側の要求の範囲とのすり合わせや解の選定の方法に関しては、まだ考察の余地が多い。本章で大学キャンパスを事例として示した計画手法および配置の評価方法は、密集住宅地区の建替や市街地再開発における逐次建替計画に対しても、応用が可能であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 京都大学宗本研究室：「時間推移に伴う校舎保有延床面積の推移とその評価」，1998
- 2) 長岡弘明，古阪秀三，山崎雅弘，金多隆，李永鎬，岡本啓照：「建築工事における労務平準化への遺伝的アルゴリズムの適用」，日本建築学会計画系論文集 第491号，pp183-187，1997.1
- 3) 李永鎬，長岡弘明，古阪秀三，山崎雅弘，金多隆：「労務コストに基づく建築工事の労務資源配分最適化」，日本建築学会計画系論文集 第504号，pp187-194，1998.2
- 4) 峰政克義，伊藤健司，古阪秀三：「建築生産情報の計画的確定手法の開発とGAの適用可能性」，日本建築学会計画系論文集 第512号，pp229-236，1998.10
- 5) 小木曾定章：「地域の開放性に関する平均環境の理論 -その1、空隙係数と立面建蔽率-」，日本建築学会論文報告集 第182号，pp33-39，1971.4
- 6) 小木曾定章：「住いと都市の環境論 II -3 開放感と圧迫感」，新建築社，pp110-113，1979
- 7) 武井正昭，大原昌樹：「圧迫感の計測に関する研究・1（圧迫感の意味と実験装置）」，日本建築学会論文報告集 第261号，pp105-113，1977.11
- 8) 武井正昭，大原昌樹：「圧迫感の計測に関する研究・2（物理尺度との対応について）」，日本建築学会論文報告集 第262号，pp103-112，1977.12
- 9) 武井正昭，大原昌樹：「圧迫感の計測に関する研究・3（建築物までの距離並びに建築物の色彩との関係）」，日本建築学会論文報告集 第263号，pp71-79，1978.1

- 10) 北野宏明編：「遺伝的アルゴリズム②」，産業図書，1995
- 11) 市川淳信編：「多目的決定手法の理論と方法」，社団法人計測自動制御学会，1980
- 12) 森田祐之、加藤直樹：「二目的フローショップ・スケジューリング問題に対する遺伝的アルゴリズム」，システム制御情報学会論文誌 Vol. 10 No. 3, pp127-136, 1997
- 13) 青木義次：「プラン作成と遺伝的進化とアナロジー - 室配置問題の遺伝的進化アルゴリズムによる解法 -」，日本建築学会計画系論文集 第481号, pp151-156, 1996. 3
- 14) 野嶋眞二、佐藤滋：「立体土地利用と日照条件による住区環境複合評価に関する研究」，日本建築学会計画系論文集 第497号, pp147-154, 1997. 7
- 15) 篠崎道彦、出口敦：「街づくり計画の実施に向けた建替更新計画ツールに関する研究」，第27回日本都市計画学科学術研究論文集, pp187-192, 1992
- 16) 篠崎道彦：「街づくりと計画支援システム」，都市計画 第211巻, pp45-48, 1998. 2
- 17) 篠崎道彦：「既成市街地における住宅地デザインの課題 - 東京都中野区平和の森公園周辺地区の地区計画とその推進 -」，1994年度日本建築学会大会（東海）都市型住宅地特別研究部門パネルディスカッション資料, pp41-48, 1994. 9
- 18) 梶秀樹：「土地利用ダイナミックモデルの研究（1）」，日本都市計画学会学術研究発表論文集, pp79-84, 1974
- 19) 山田雅夫：「次世代街区への提案 安全で環境に優しい街づくり 第5章市街地再生のためのプログラム」，pp119-132, 鹿島出版会，1998
- 20) 兼田敏之：「都市空間のための空間利用シミュレーターの設計」，日本建築学会・情報システム技術委員会第21回情報システム利用技術シンポジウム, pp139-144, 1998

## 第7章 結論

### 7.1 各章のまとめ

### 7.2 結論

## 7.1 各章のまとめ

本論では、研究の目的として建築計画における室と建物の配置問題に、部分と全体の相制関係のモデルと知的システムを用いて優秀な配置案の探索を効率的に行う手法を提案し、各種配置計画においてその有効性を示した。複雑な建築を単位空間の集合体と捉え、「計画者の評価・選択」と「知的システムの情報処理」の協調的な計画プロセスを提案し、個別の要求条件や設計者の計画意図を高度に満たした配置プランを効率的に見つけ出すことに成功した。

第2章では、病院手術棟の21の要求諸室を配置する問題を事例として、人の移動と空間の配置の関係を、部屋を分解した単位空間（セル）のリレーションシップ・マトリクスに基づく相制関係としてモデル化し、GAを援用して優秀な代替案の探索を行った。スタッフの移動人数と移動距離の積を給料により重み付けした「移動コスト」を定義し、人の移動を計量的に評価する尺度としてGAの評価関数に用いた。GAの染色体として表記された配置プランが、関連性の大きなセルを互いに近くに配置するように制御し合いながら進化することで、様々なゾーニングの特徴を持った配置プランを示すセルの配置を得ることができた。これらの異なるゾーニングの配置プランでは、共通して移動コストの値が大きなセル同士が近くに配置されるが、移動コストの値の小さなセルの配置に様々なパターンが存在することで、ゾーニングに多様性が発生していることを確認した。

同じ対象を扱った従来の配置計画手法[AOLSB 1964]と比較を行ったとき、AOLSBは、あらかじめ定められたセルの配列順序に従ってセルを増殖的に配置することで唯一の優秀解に到達する明確な手続きに基づく手法であったのに対し、本章の手法では、各パラメータのヒューリスティックな設定とGAの発見的な探索によって、演算負荷を増大させることなく同等以上に優秀な複数の代替案を効率的に獲得することができることを示した。GAを、最適化システムとしてではなく、そのヒューリスティックで確率的なあいまい性を含む特性を活かした条件充足型の多解生成手法として扱うことで、建築の配置計画における計画者の創造的思考の一部をシステムに効率的に代替させる計画手法を示した。

第3章では、第2章と同じ病院手術棟の室配置問題を対象として、より具体的な人の移動と部屋の配置の関係に基づいて配置プランを求めるためのモデル化を試みた。第2章において、セル同士の重心間距離として簡略的に取り扱われていたスタッフの移動距離に対し、廊下を介して移動する人の具体的な移動経路まで考慮することのできる廊下形状モデルを設定した。部分となる単位空間

として、前章のセルに替わり形状やサイズの異なる個々の部屋を設定し、各部屋のドアからドアまでの廊下上の最短距離を移動距離とする「移動コスト」を評価尺度と定義することで、T字型やI字型の廊下形状を持つ優秀なインフラストラクチャ型の配置プランを導くことができた。導かれた優秀な配置プランから、特に移動コストの値の大きな部屋が優先的に近くに配置され、また複数の部屋のとのつながりが重視される部屋が、廊下の中心あるいは交差付近に配置される傾向を確認した。同じ計画対象を扱い、同様に移動コストを小さくする配置プランを導くことを目的としながらも、考察の主題に応じた単位空間の定義と相制関係のモデル化の重要性を示した。

第2章と第3章のシミュレーションを、次第に考察の主題が具体化していく一連の計画プロセスとして位置付けたとき、各段階の考察の目的を次のステップの原図を導くことと捉えることができる。前段階の考察によって得られた知識を土台とし、計画者の評価を通じて段階的に計画の方向性の修正とモデルの見直しを行う段階的な計画プロセスは、適所に知的システムを援用することで設計・計画における「分析」「総合」「評価」のサイクルを的確にモデル化しており、計画案を具体化させる効果的な方法であることを考察した。

第4章では、2つの大学組織を2棟の既存校舎へ再配置する問題において、単位空間の相制関係を、建物と組織の階層的構成を示す図式に基づいて評価することで配置プランを導くことを試みた。「専攻/講座/分野/室」の階層的構成を持つ大学組織の、「棟/階/ブロック/部屋/ユニット」の階層的構成を持つ建物におけるまとまり度合いを、組織同士の結び付きと部屋同士の結び付きの強さを表した2つのマトリクスから求められる結合強度を用いて評価すると共に、各組織レベルのまとまり度合いの重み付けを調整することで、計画者の個別の計画目標に応じた配置プランを獲得する手法を提案した。既存校舎への室再配置計画という、構造スパンやコアの配置を変更することのできない建物側の厳しい制約条件が存在する配置問題に対して、既存校舎の構造スパンによって決定される建物固有の単位空間をユニットとして設定し、各ユニットの相制関係をニューラルネットワークを用いてモデル化した。組織の要求面積のみに基づいて先に組織ごとに建物を割り当てる「棟割り当て手法」と、ユニットの相制関係からボトムアップに全体を導く「室照合手法」の比較を行った。前者の手法では、部屋レベルの割り当て面積の過不足度に大きなばらつきが生じ、その後の調整によってもそのばらつきを許容できるレベルに納めることが困難であったのに対し、後者の手法を用いて、各要求諸室の面積と実際に割り当てられる面積との過不足を改善し、計画者の意図に応じて、各組織レベルのまとまり度合いを良好に満たしたバランスのよい配置プランを導くこ



とに成功した。

**第5章**では、計画条件が複雑で計画の初期段階において計画全体を評価する尺度を明示的に設定することが困難な配置問題を、大学の施設配置計画を事例として、部分と全体の相制関係のモデルを用いて解くことを試みた。マルチエージェントシステムを援用して大学の各組織に属する単位空間をエージェントとするモデル化を行い、自律分散的に振舞うことのできるエージェントに、指定範囲内の各種エージェント数の制約条件として与えた行動ルールに従って全てのエージェントが制約条件を満足する位置を探索させることで配置パターンを導いた。一つのコンピュータ上で、エージェントの自律分散的な振る舞いを仮想的に実現するために、エージェントの各ステップの位置情報を適宜保存し、全てのエージェントの状態を同時に変化させることで、個々のエージェントの評価順序に影響されない並列的なシステムを構築した。

個々のエージェントの制約条件のみによって導かれる配置プランでは、部分の機能性は確保されるものの、それだけでは計画全体としての機能性や整合性を実現することはできない。そのため、計画者が導かれる配置プランの評価に基づいてエージェントの行動ルールを調整することで、段階的に計画目標を明示化させながら最終的な配置プランに到達する協調的な計画プロセスを提案した。この計画プロセスでは、計画全体の目標を部分の機能性の視点から捉えて評価・調整するため、部分の機能性を常に確保しながら、全体としても計画者の意図を満たした構成を持つ優秀な配置プランへと改善することができた。また、エージェントの制約条件の修正や追加を行う操作では、その履歴に基づいて行動ルールと配置プランの変化の関係を的確に捉えることが可能であるため、多様なパターンの配置プランの比較検討を行う上でも優れた手法であることを示した。

計画の明確な方向性を示すことが難しい複雑な配置問題に対しても、施設を単位空間に分解してその相制関係をモデル化する方法論が有効であることを示し、協調型の計画プロセスによって単位空間から配置プランを再構成する手法の構築において、マルチエージェントシステムが効果的であることを実証した。

**第6章**では、大学の建替計画を取り上げ、空間の時系列変化を考慮した配置計画を、部分と全体の相制関係のモデルを用いて導くことを試みた。どんなに優秀な配置プランも瞬時に出来上がるわけではなく、長い建替期間を必要とする再開発計画では、配置プランの状態も含めて優秀な配置計画であるかを判断することが重要となることから、各段階の配置プランを部分とする建替スケ

ジュールの相制関係をモデル化し、建替スケジュール全体と変遷過程における配置プランが、共に良好な状態となる計画を求める手法を提案した。相制関係を規定する尺度として、キャンパスの総延床面積と総立面面積の2つの尺度を用い、GAを用いた二目的最適化によってこれらの尺度を共に高いレベルで満たすパレート最適解集合を求めた。そして、パレート最適解集合から、「総延床面積に大きな重みを置いた解」、「総立面面積に大きな重みを置いた解」、「2つの尺度に同等の重みを置いた解」の3つの特徴的なパレート最適解を選び取り、2つの尺度の時間的な変化とキャンパス空間の変容をグラフや配置プランを用いて視覚化することで、総合的な評価を行った。事例では、総延床面積に比べて総立面面積の優劣の差が大きくなることが明らかとなり、総立面面積の大きな増加・減少の要因となる建物の新築・取壊年度を重点的に管理することが、建替スケジュール全体および期間中の配置プランが良好となる計画を実現する上で効果的であるという知見が得られた。これらの知見に基づいて、計画者は個別の計画目標を決定し、意図に則した優秀な計画案をパレート最適解集合から選択することが可能となった。

補足的な考察として、配置プランの平面形状と階数の簡単な補正を考慮したモデルを用いて、建替スケジュールの探索と目標配置プランの見直しを同時に行い、補正された目標配置プランとそれに至る優秀な建替スケジュールを導いた。道路状空間に近い距離にある建物がセットバックすることで、総立面面積を減少させた目標配置プランを得ることができ、建替スケジュールでは、目標配置プランの改善は総延床面積の推移への影響は少ないものの、総立面面積の推移を大幅に改善することが明らかとなった。さらに、二目的計画手法で陥りやすい問題として、一方の尺度を過剰に満たした解の生成に関しても考慮し、過剰供給の見られた総延床面積の目標値を定め、目標値に到達した後はその値を維持しながら総立面面積を向上させる建替計画を求めた。建替期間を通して総立面面積の増加が抑えられ、キャンパス内の圧迫感がほぼ一定に保たれた優れて現実的な解を獲得することができた。

部分と全体の相制関係のモデル化は、空間の時間的な変化の中で部分と全体の関係が定義される問題に対しても効果的であり、幅広いタイプの配置問題への同様のモデル化の応用可能性を示した。

## 7.2 結論

建築のプログラムや要求条件はますます複雑化し、それを評価する設計者の価値観も多様化している。建築の設計・計画問題のモデル化において、建築の一般的な機能性を高いレベルで満たしながら、計画者の個別の価値観や計画目標にも対応することは重要な課題である。本論では、計画対

象の規模・条件・目的の異なる5つの配置問題を事例として、部分と全体の相制関係のモデル化と知的システムを用いた情報処理により、膨大な解のパターンの中から、個別の要求条件や設計者の計画意図を高度に満たした解を効率的に見つけ出す計画手法を示し、その有効性を実証した。まず、複雑な配置問題の検討過程で行われる設計者の試行錯誤を、知的システムの「初期設定」「終了条件の設定」「評価式の重み付けの設定」といったパラメータ操作のデジタルな試行錯誤に置き換え、計量的なヒューリスティックスを実現した。次に、「設計者による評価・選択」と「知的システムによる情報処理」の協調的な計画プロセスを築くことで、生成された多様な解の成立可能性の検討を行いながら、創造的な設計行為における優秀解を導くことができることを示した。また、部分と全体の相制関係のモデルは、複雑な配置問題を部分同士のローカルな関係の問題として置き換えるため、計画者が導かれる配置プランの特性を的確に把握する上でも効果的であることを確認した。

序論において掲げた4つのテーマに基づいて、本論の成果を以下のように整理することができる。

#### (Ⅰ) 人の移動コストと空間の配置の関係に基づく配置計画手法の成果

人の移動量から空間の配置を決定するためには、その人数に応じて指数関数的に増加する膨大な情報処理が必要となるが、従来の一般的な配置計画手法は、客観的な尺度を最適に満たす唯一の解を見つけ出すことを目的として、探索の手続きを客観的かつ明確に記述することで演算範囲を絞り込んで解を獲得するものであった。これに対し、部分と全体の相制関係のモデル化と知的システムの援用に基づく本論の配置計画手法は、発見と検証の反復的な手続きにより広い探索範囲を確率的に網羅することで、評価尺度を高いレベルで満たし、計画者の個別の価値観に基づく選択を可能とする多様性に富む優秀な代替案集合の獲得を可能にした。配置計画手法は、今後、人間と環境の関連性の解明を目指した行動科学 (Behavioral Sciences) などの幅広い研究分野の知見をフィードバックすることで、さらに多様な価値観に基づいた多くの展開が予想され、膨大な演算処理の重要性は増していくものと考えられる。膨大な情報処理を必要とする人の移動量から配置プランを求める手法として、部分と全体の相制関係のモデル化と知的システムの援用の有効性を示したことの意義は大きい。

#### (Ⅱ) 空間の図式と配置の関係に基づく配置計画手法の成果

問題の構造が複雑になるにつれて、部分と全体の相制関係のモデル化が困難となるだけではなく、

優秀な配置プランの定義自体が構造的あるいは多目的となり、それに応じて相制関係のモデルを評価する評価式の定義が重要な課題となる。空間を抽象化した図式には、建築の特性によって様々な表記や内容のものが存在するが、それらには共通して計画者の強い計画意図やコンセプトが象徴的に表現されている。このような図式を拠り所として評価式を定義することの有効性を、既存校舎への再配置問題の事例を通して実証した。事例では、階層的な建物構成と大学組織構成を表す図式を用いて、組織の各階層のまとまり度合いを表す一次線形多項式を設定した。このような項目同士が影響し合わない最もシンプルな一次線形式による表記は、計画者ごとに計画目標が異なるため各項目同士の関連性をただ一つに限定することのできない問題において、個別の計画目標に応じた各項目の重み付けを独立して調整することが可能であり、相制関係に基づく配置計画手法の評価式の基本形と言える。

### (Ⅲ) 計画全体を評価する尺度を明示的に設定できない配置計画手法の成果

計画の初期段階で計画目標を定めることが困難あるいは好ましくない配置問題において、計画者が暫定的な配置プランを見出しながら次第に計画目標を明示化していく計画プロセスと、それを実現する知的システムの操作性の効果を確かめた。また、建築を部分に分解し、その部分同士の相制関係の満たすべき制約条件を操作の対象とすることは、計画全体の目標を見出すこと自体が困難な計画対象を、身近で感覚的に把握することが容易な部分の問題として置き換えながら思考を展開していくことを可能にした。複雑なプログラムをもつ建築の計画において、部分の機能性の充足に基づく計画理論の重要性を確認し、「部分的な機能性」と「全体としての機能性・造形的整合性」を同時に満足する配置プランを検討する実験的な計画手法を提案した。

### (Ⅳ) 空間が時間的に変化する配置計画手法の成果

配置計画は、時として単に定常的な空間の位置関係や納まりの問題の枠を越え、流動的な変化の予測を基に、中期的あるいは長期的な視点から最良と考えられる計画を決定していくことが求められる。配置計画である以上、部分と全体の相制関係のモデルによって空間の状態を評価することは不可欠であるが、部分となる単位空間は階層的な空間構成における相対的な関係の中だけで定義されるべきものではなく、考察の目的や評価の視点に適応した相制関係を発見・定義していくことが重要であることを示した。

今後、計画に携わる主体や計画条件の複雑化に伴い、評価尺度と同様に評価の視点もますます多

様化していくことが予想される。本論では、建替スケジュール問題を時間的に変化する空間の配置問題として扱ったが、このように配置計画の概念の拡張や展開に対しても、問題の特性にふさわしい部分と全体の定義を柔軟に行うことができれば、部分と全体の相制関係のモデル化と知的システムを応用して計画者の思考を補完する合理的な手法を導くことができることを示した。

建築計画学では、多くの研究の成果として、人間と建築の実態的な関わりに関する膨大な知識や情報が断片的に獲得され、蓄積されてきた。これらの知識や情報を、創造的な設計や計画に積極的に活用することを試みるとき、本論で示した部分と全体の相制関係のモデル化と知的システムを援用した情報処理に基づく方法論は、一つの有効な手掛かりになるものと考えられる。

最後に、今後に残された課題を整理する。評価尺度を高いレベルで満たす優秀な代替案集合を求め、その中から計画者が経験的知識に依存した総合的判断によって最終的な代替案を選択する手法が、より実用性の高いものとして確立されるためには、代替案集合を絞り込む基準値の精度と獲得される代替案集合の多様性の関係、パレート最適解の選択方法、ヒューリスティックな思考を支える変数同士の関連性等、まだまだ多くの考察の余地を残している。協調的な計画プロセスの構築においても、本論では問題ごとにその特性を考慮しながら適切なアルゴリズムの選択と計画者の判断や評価のタイミングを経験的に決定しているが、これらの関係についても体系的に纏めることが求められる。また、設定や調整などの操作の履歴と導かれる配置プランの関係を分析することで、実際に計画者の思考をどのように支援できているのかを検証することも残された重要な課題である。

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたり、多くの方々に懇切なご指導とご配慮を賜りましたことに感謝を申し上げます。

宗本順三教授(京都大学大学院工学研究科)には、本研究を行う機会を与えて頂くとともに、研究方法の基本に関する細やかなご指導、および本研究の構想から執筆・構成に至る全ての作業における多大なご教示とご尽力を頂きましたことを心から感謝いたします。

ご多忙の中、調査委員をお引き受け下さいました加藤直樹教授(京都大学大学院工学研究科)、鉾井修一教授(京都大学大学院工学研究科)、並びに学力試問委員をお引き受け下さいました上谷宏二教授(京都大学大学院工学研究科)、前田忠直教授(京都大学大学院工学研究科)には、本論文のまとめにおいて貴重なご助言を頂きました。謹んで感謝を申し上げます。

吉田哲助手(京都大学大学院工学研究科)、阪野明文氏(現在 鹿島建設株式会社)、水沼靖昭氏(現在 伊東豊雄建築設計事務所)には、本研究を遂行するにあたり多大なご協力を頂きました。また、京都大学大学院工学研究科宗本研究室の諸兄姉には、ゼミを通じて有益なご意見と暖かいご支援を頂きました。ここにお礼申し上げます。

最後に、常に暖かく見守り励ましてくれた両親、そして研究を陰で支えてくれた家族に心から感謝いたします。